

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

на тему: «Побудова вузла ROADM на базі обладнання фірми Cisco»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ТС-п71

Кочева Надія Сергіївна _____

Керівник:

Доцент кафедри ТС, к.т.н., доц.

Григоренко Олена Григорівна _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Програма професійного спрямування (спеціалізація) – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Кочевій Надії Сергіївні**

1. Тема роботи «Побудова вузла ROADM на базі обладнання фірми Cisco», керівник роботи Олена ГРИГОРЕНКО, доцент кафедри ТС, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи 13 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: інформаційні матеріали про оптичні транспортні мережі. Інструкції фірми Cisco з налаштування ONS 15454. Розгорнутий план порядку розробки дипломної роботи.

4. Зміст роботи

Визначити актуальність даної теми та використання оптичних транспортних мереж. Розглянути технології синхронної цифрової ієрархії, транспортні мережі на основі технологій Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet та технології оптичного мультиплексування за довжиною хвилі xWDM. Визначити призначення, склад та основні функції мультисервісних

транспортних платформ. Описати вузол ROADM на базі обладнання фірми Cisco.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів)

1) Тема, мета та завдання дипломної роботи;

2) Аналіз технологій для побудови оптичних мереж.

3) Побудова оптичних транспортних мереж на базі мультисервісних транспортних платформ;

4) Вузол ROADM на базі обладнання фірми Cisco;

5) Висновки та рекомендації.

6. Дата видачі завдання 10 вересня 2019 р.

Календарний план

| з/п | Назва етапів виконання дипломної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-----|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Обґрунтування актуальності роботи та пошук інформації, що до теми роботи. | 15.09.19 – 20.09.19 | |
| 2 | Постановка мети та змісту дипломної роботи. | 20.09.19 – 28.09. 19 | |
| 3 | Формування вступної частини. | 28.09. 19 – 06.10.19 | |
| 4 | Аналіз технологій для побудови оптичних мереж. | 07.10.19 – 06.12.19 | |
| 5 | Аналіз інформації про побудову оптичних транспортних мереж на базі мультисервісних транспортних платформ. | 07.12.19 – 25.02.20 | |
| 6 | Обробка матеріалів, що до побудови вузла ROADM на базі обладнання фірми Cisco. | 25.02.20 – 20.04.2020 | |
| 7 | Оформлення дипломної роботи | 21.04.2020 – 20.05.2020 | |
| 8 | Подання дипломної роботи на кафедру. | 13.06.2020 | |

Студентка

Надія КОЧЕВА

Керівник роботи

Олена ГРИГОРЕНКО

РЕФЕРАТ

Обсяг текстової частини дипломної роботи 84 сторінок. Кількість ілюстрацій 25. Кількість таблиць 3. Кількість додатків 3. Кількість бібліографічних посилань 27.

Метою дипломної роботи є аналіз технологій побудови OTN, складових такої мережі та побудова вузла ROADM на базі обладнання фірми Cisco. Методи, що були використані в роботі: спостереження; порівняння; аналіз.

В результаті написання роботи були розглянуті особливості технології синхронної цифрової ієрархії, транспортні мережі на основі технологій Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, технології оптичного мультиплексування за довжиною хвилі xWDM. Наведені структурні схеми та принципи роботи оптичних компонентів мультисервісних транспортних платформ на базі серії ONS 15454 фірми Cisco. Розглянуті структурні схеми та конфігурації вузлів оптичної транспортної мережі. Були наведені особливості оптичних компонентів для побудови оптичних мереж. Було розглянуто вузол ROADM на базі обладнання фірми Cisco. Наведений склад вузла ROADM, функції та призначення основних компонентів. У пункті «Конструктивне виконання вузла ROADM» наведені декілька варіантів конструктивних виконань вузла, що запропоновані фірмою Cisco.

ROADM, WSS, CISCO, ОПТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ, ONS 15454

ABSTRACT

The volume of the text part of the thesis 84 pages. Number of illustrations 25. Number of tables 3. Number of applications 3. Number of bibliographic references 27.

The aim of the thesis is to analyze the technologies of OTN construction, components of such a network and the construction of the ROADM node based on Cisco equipment. Methods used in the work: observation; comparison; analysis.

As a result of writing the work, the features of synchronous digital hierarchy technology, transport networks based on Gigabit Ethernet technologies, 10 Gigabit Ethernet, xWDM optical wavelength division multiplexing technologies were considered. The structural schemes and principles of operation of optical components of multiservice transport platforms based on the ONS 15454 series from Cisco are presented. Structural schemes and configurations of optical transport network nodes are considered. Features of optical components for construction of optical networks were given. The ROADM node based on Cisco equipment was considered. The composition of the ROADM node, functions and purpose of the main components are given. In the section "Design of the ROADM node" there are several design options for the node, proposed by Cisco.

ROADM, WSS, CISCO, OPTICAL TRANSPORT NETWORKS, ONS 15454

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ..... | 8 |
| ВСТУП | 11 |
| 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ | 13 |
| 1.1 Переваги оптичних транспортних мереж | 13 |
| 1.2 Особливості технології синхронної цифрової ієрархії (SDH, NGSDH).... | 15 |
| 1.3 Транспортні мережі на основі технологій Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet | 18 |
| 1.4 Технології оптичного мультиплексування за довжиною хвилі xWDM | 21 |
| 1.5 Технологія оптичної транспортної мережі (OTN) | 22 |
| 1.6 Оптичні компоненти для побудови OTN..... | 25 |
| 1.7 Висновки до розділу 1 | 27 |
| 2 ПОБУДОВА ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ НА БАЗІ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПЛАТФОРМ | 28 |
| 2.1 Призначення, склад та основні функції мультисервісних транспортних платформ | 28 |
| 2.2 Оптичні компоненти мультисервісних транспортних платформ | 31 |
| 2.3 Конфігурації вузлів оптичної транспортної мережі | 48 |
| 2.4 Висновки до розділу 2 | 55 |
| 3 ВУЗОЛ ROADM НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ ФІРМИ CISCO..... | 57 |
| 3.1 Технології ROADM..... | 57 |
| 3.2 Склад вузла ROADM та виконання основних компонентів | 61 |
| 3.3. Варіанти побудови вузлів ROADM..... | 63 |
| 3.4. Управління обладнанням вузла ROADM | 68 |
| 3.5 Висновки до розділу 3 | 70 |
| ВИСНОВКИ..... | 72 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 75 |
| ДОДАТКИ..... | 78 |
| ДОДАТОК А..... | 78 |

| | |
|-----------------|----|
| ДОДАТОК Б | 80 |
| ДОДАТОК В..... | 82 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

| | |
|-------|--|
| ATM | Asynchronous Transfer Mode - Асинхронний режим передачі |
| CWDM | Coarse Wavelength Division Multiplexing - Мультиплексування з широким спектром довжин хвиль |
| DC | Dispersion compensators - Компенсатори хроматичної дисперсії |
| DMX | Оптичний демультиплексор |
| DWDM | Dense Wavelength Division Multiplexing - Щільне мультиплексування з поділом по довжині хвилі |
| EDFA | Erbium Doped Fiber Amplifier - Оптиковолоконний підсилювач легований ербієм |
| ELH | Extended Long Haul |
| FDDI | Fiber Distributed Data Interface - Розподілений волоконний інтерфейс даних |
| FEC | Forward Error Correction - Упереджувальний корекція помилок |
| FOADM | Fixed optical add/drop multiplex – Фіксований оптичний мультиплексор вводу/виводу |
| GbE | Gigabit Ethernet - Гігабітний Ethernet |
| GCC | General communication channel - Основний канал зв'язку |
| IP | Internet Protocol - Межсетевой протокол |
| LCD | Рідкокристалічний дисплей |
| LCoS | Liquid Crystal on Silicon - Рідкі кристали на кремнії |
| LH | Long Haul |
| MEMS | Мікроелектромеханічні системи |
| MSPP | Multi ServiceProvisioning Platform - Об'єднана платформа |
| MSSP | MultiService Switching Platform - Мультисервісна комутаційна платформа |

| | |
|--------|--|
| MSTP | Multi Service Transport Platform - Мультисервісна транспортна платформа |
| MUX | Оптичний мультиплексор |
| NGN | New generation network - Мережа нового покоління |
| NG-SDH | Next-generation SDH - SDH нового покоління |
| OA | Optical amplifiers - Оптичні підсилювачі |
| OADM | Optical Add/Drop Multiplex - оптичний мультиплексор вводу/виводу |
| OCM | Блок моніторингу оптичних каналів |
| ODMX | Optical demultiplexer - Оптичний демультимплексор |
| ODU | Optical data unit - Блок даних оптичного каналу |
| OMS | Optical multiplexing section - Секція оптичного ущільнення |
| OMX | Optical multiplexer - Оптичний мультиплексор |
| ONS | Мультисервісна транспортна платформа |
| OOS | Сигнал заголовку оптичного транспортного модуля |
| OPM | Пристрої моніторингу оптичних каналів |
| OR | Optical receivers - Оптичні приймачі |
| OSC | Сигнал каналу контролю |
| OT | Optical transmitter, Optical transponders - Оптичний передавач, Оптичні транспондери |
| OTM | Оптичний транспортний модуль |
| OTN | Optical Transport Network – Оптична транспортна мережа |
| OTS | Optical transmission section - Оптична секція передачі |
| OTU | Optical transport unit - Транспортний блок оптичного каналу |
| OXC | Оптичні кросс-комутатори |
| PDH | Plesiochronous Digital Hierarchy - Плезиохронная цифрова ієрархія |
| PLC | Programmable Logic Controller - Програмований логічний контролер |

| | |
|-------|---|
| RGN | Транспондер регенератора сигналів оптичних каналів |
| ROADM | Reconfigurable optical add-drop multiplexer – Реконфігуруємий оптичний мультиплексор вводу/виводу |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy – Синхронна цифрова ієрархія |
| SONET | Synchronous optical networking - Синхронні оптичні мережі |
| TAP | Розгалужувач |
| TDM | Time Division Multiplexing - Мультиплексування з поділом за часом |
| TPD | Транспондерні пристрої |
| TXP | Транспондер вводу/виводу клієнтських сигналів |
| VCAT | Virtual conCATenation - Віртуальна конкатенація |
| VOA | Керований оптичний атенюатор |
| WB | Wave blocker- Хвильовий блокатор |
| WDM | Wavelength Division Multiplexing – Спектральне ущільнення каналів |
| WSS | Wavelength selective switching - Селективне перемикання по довжині хвилі |
| WXC | Блок крос-комутатора оптичних каналів |

ВСТУП

Актуальність теми даної роботи випиває з того, що оптичні мережі розвиваються зі стрімкою швидкістю, отримуючи змогу підтримувати все більше сучасних різних додатків та технічних рішень. З приходом нового покоління мереж зв'язку стануть доступні такі новітні технології як: Інтернет речей, розумні будинки та міста, розумний дорожній рух, розумна система охорони здоров'я та ін.

Очікується, що бездротова технологія п'ятого покоління (5G) буде запущена в глобальному масштабі в поточному 2020 році. Звичайно, у зв'язку з цим трафік передачі даних буде стрімко збільшуватись з року в рік. Згідно з даними «Річного Інтернет-звіту» від компанії Cisco [1] до 2023 року доступ до Інтернету матиме майже дві третини населення світу, загальна кількість користувачів Інтернету складе 5,3 млрд., проти 3,9 млрд. користувачів (51% населення світу) в 2018 році. З приходом технології Інтернет речей року з'єднання між комп'ютерами складуть половину глобальних підключених пристроїв і з'єднань. Частка підключень між комп'ютерами виросте з 33 відсотків у 2018 році до 50 відсотків до 2023 року. До 2023 року буде 14,7 мільярда підключень.

Оптична мережа, що забезпечуватиме мережу 5G, повинна відповідати трьом основним характеристикам, без яких не можливе повноцінне функціонування, а саме:

- збільшена пропускна здатність оптичного волокна;
- масові оптичні крос-з'єднання;
- інтелектуальна експлуатація та обслуговування мережі.

Саме технологія ROADM забезпечує одну з найголовніших характеристик системи нового покоління. Масові оптичні крос-з'єднання необхідні для забезпечення повної можливості перемикання для всіх каналів WDM у всіх волокнах, підключених до оптичного вузла. Це можна

забезпечити використанням багатоступневих реконфігуруємих вузлів введення/виведення оптичних каналів MD-ROADM. [2]

Мета роботи. Аналіз технологій побудови OTN та побудова вузла ROADM на базі обладнання фірми Cisco.

У першому розділі роботи проаналізовані технології для побудови оптичних мереж.

У другому розділі роботи розглянута побудова оптичних транспортних мереж на базі мультисервісних транспортних платформ.

У третьому розділі роботи розглянуті особливості та наведена побудова вузла ROADM на базі обладнання фірми Cisco.

Об'єктом роботи є: телекомунікаційні мережі доступу на основі волоконно-оптичних технологій.

Предметом роботи є: побудова вузла ROADM на базі обладнання фірми CISCO.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Переваги оптичних транспортних мереж

Мережі безперервно розвиваються і трансформуються, щоб задовольняти зростаючим вимогам до швидкості передачі і рівню обслуговування. Введення в 1990 році стандартів SDH і SONET забезпечило надійну і ефективну передачу голосового трафіку на великі відстані, а також підвищило сумісність систем операторів. Технологія WDM дозволила ще більше підвищити ємність мережі завдяки передачі декількох хвиль різної довжини по одному волокну.

Сучасні додатки висувають до мереж постійно зростаючі вимоги і стають все більш складними і залежними від мережі. Для роботи важливих додатків потрібні високі рівні продуктивності, включаючи швидке переключення захисту, низький/нульовий рівень втрати пакетів і інші функції. Для передачі такого трафіку, як фреймів Ethernet між ЦОД, відеоконтенту між виробничими центрами та синхронного трафіку систем зберігання потрібен продуманий підхід і, як правило, дуже висока ємність і надійність мережі.

OTN дозволяє створити мережеву інфраструктуру, здатну передавати різноманітний трафік, забезпечує високу швидкість передачі, велику ємність каналів і інтелектуальні функції, які допомагають оптимізувати роботу операторів і їх замовників. OTN вважається єдиною оптичною технологією, яка призначена для інкапсуляції високоемного корисного навантаження та необхідна для роботи мереж з пакетною комутацією, наприклад, на основі комутаторів Ethernet і маршрутизаторів. На сьогоднішній день OTN - це єдиний протокол оптичних транспортних мереж, здатний підтримувати швидкість понад 40 Гбіт/с.

OTN пропонує ряд переваг для магістральних і базових міських мереж завдяки взаємодоповнюючим характеристикам протоколів IP і OTN. Магістралі і базові міські мережі на основі OTN забезпечують підвищення

ефективності передачі, надійність на рівні 99,999 відсотків і можливість надання приватних послуг на базі спектральних каналів. Комбінація протоколів IP і OTN також спрощує процеси управління і моніторингу, скорочує число переходів, підвищує безпеку послуг і знижує витрати на обладнання. Крім нарощування швидкості до 100G і вище, OTN грає ключову роль у перетворенні мережі в відкриту і програмовану платформу, завдяки чому транспорт може стати такою ж важливою частиною інтелектуальної мережі, як системи обчислення і зберігання. [3]

OTN забезпечує детерміноване і просте надання послуг. Високі вимоги до рівня обслуговування неможливо виконати без детермінованого надання послуг. OTN створює надійну інфраструктуру доставки, в якій кожен вхідний біт інформації передається в суворій відповідності з угодою про рівень обслуговування. Надання та моніторинг послуг може здійснюватися з використанням простої операційної моделі в відмовостійкій мережі з OTN-комутацією.

OTN забезпечує надання конфіденційних, високо захищених мережевих послуг. OTN пропонує надійний зв'язок, фізично ізолюючи критично важливий трафік кожного клієнта від решти мережі. Крім того, передбачена можливість шифрування каналів OTN на швидкості лінії для захисту від вторгнення. OTN виконує автоматичне відновлення і здатна виправити кілька одночасних помилок. Це виключає необхідність проведення широкомасштабного відновлення мережі після відмов мережі або стихійних лих.

Таким чином, основними перевагами мережі OTN [3]:

- Скорочення витрат на транспорт.
- Ефективне використання оптичного спектру.
- Детермінізм.
- Віртуалізація мережевих операцій.
- Гнучкість.

- Безпечна модель.
- Надійність і простота операцій.

Жодне інше сучасне технологічне рішення не дозволяє операторам зв'язку більш швидко і ефективно пропонувати нові послуги, одночасно усуваючи небезпеку невизначених витрат для майбутніх поєднань різних типів трафіку. Поява мільярдів підключених до мережі призначених для користувача пристроїв і вдосконалення способу передачі даних користувачам у всьому світі створює попит на рішення OTN і визначає високу значимість цієї технології для мереж нового покоління.

1.2 Особливості технології синхронної цифрової ієрархії (SDH, NGSDH)

Технологія SDH, розроблена в 1988 р як оптична технологія, - спадкоємиця цифрової технології PDH і є синхронною технологією з комутацією трактів і часовим поділом каналів [4].

Вона підтримує традиційні інтерфейси PDH: E1, E3, E4 (2, 34, 140 Мбіт/с), упаковуючи зазначені потоки в віртуальні контейнери VC-1, 3 і 4, відповідно, які потім завантажуються в синхронний транспортний модуль STM-1 (155 Мбіт/с) і передаються по оптоволоконній мережі SDH. Ця технологія запропонувала нову ієрархію швидкостей і модулів STM-N, які відповідали базовій швидкості STM-1, помноженої на коефіцієнт з ряду: 1, 4, 16, 64, 256. Максимальна досягнута швидкість відповідає останньому коефіцієнту і дорівнює 40 Гбіт/с. [5].

При передачі даних в мережах SDH є наступні недоліки [6]:

- Ієрархія швидкостей передачі каналів SDH не відповідає швидкостям передачі даних, наприклад, Ethernet;
- Низька ефективність використання пропускну здатності синхронних каналів внаслідок непристосованості їх для передачі пульсуючого трафіку;

— Відсутні інтерфейси для передачі даних. Потрібно додаткове обладнання, наприклад, інверсні TDM мультиплексори для з'єднання з каналами SDH, що формує вартість послуг зв'язку.

Синхронні мережі мають ряд переваг перед використовуваними раніше плезіохронними, які по суті є асинхронними. Основні з цих переваг наступні:

— спрощення мережі, викликане тим, що в синхронній мережі один мультиплексор введення/виведення, дозволяючи безпосередньо ввести або вивести, наприклад, потік E1 (2 Мбіт/с) з циклу STM-1, замінює цілу низку мультиплексорів SDH; [7]

— надійність і самовідновлюваність мережі, зумовлені тим, що, по-перше, мережа використовує волоконно-оптичні кабелі, передача по яким практично не схильна до дії електромагнітних завад, і, по-друге, архітектура і гнучке управління мережами дозволяє використовувати захищений режим роботи, що допускає два альтернативні шляхи поширення сигналу з майже миттєвим перемиканням в разі пошкодження одного з них, а також обхід пошкодженого вузла мережі; [7]

— гнучкість управління мережею, обумовлена наявністю великого числа широкосмугових каналів управління і комп'ютерної ієрархічної системи управління з рівнями мережевого і елементного менеджменту, а також можливістю автоматичного дистанційного керування мережею з одного центру, включаючи динамічну реконфігурацію каналів і збір статистики про функціонування мережі; [7]

— виділення смуги пропускання на вимогу - сервіс, який раніше міг бути здійснений тільки за заздалегідь спланованою домовленістю, тепер може бути наданий в лічені секунди шляхом перемикання на інший (більш широкосмуговий) тракт; [7]

— прозорість для передачі будь-якого трафіку - факт, обумовлений використанням віртуальних контейнерів для передачі трафіку, сформованого

іншими технологіями, включаючи технології Frame Relay, ISDN, ATM і Ethernet; [7]

— універсальність застосування - технологія може бути використана як для створення глобальних мереж або глобальної магістралі, що передає з точки в точку тисячі каналів зі швидкістю до 40 Гбіт / с, так і для компактної кільцевої корпоративної мережі, що об'єднує десятки локальних мереж; [7]

— простота нарощування потужності - при наявності універсальної стійки для розміщення апаратури перехід на наступну більш високу швидкість ієрархії можна здійснити, просто вийнявши одну групу функціональних блоків і вставивши нову. [7]

NGSDH по суті є модернізованою SDH та забезпечує передачу більших масивів інформації з більшою швидкістю.

Таблиця 1.1 - Порівняння технологій SDH і NGSDH.

| Характеристики | SDH | NGSDH |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|
| Параметри каналу в мережі | Стандартний канал ієрархії PDH рівнів E1, E3, E4 | Коридор пропускної здатності nxVC-12 |
| Пропускна здатність | Фіксована | Фіксована |
| Параметри інтерфейсів доступу | Інтерфейс PDH рек. G.703 | Частіше 10/100/1000 BaseT |

Таким чином, NGSDH не є принципово новою технологією, а являє собою спробу адаптації технології SDH до нових вимог транспортних мереж NGN. Тобто NGSDH не змінює принципів функціонування SDH, а лише замінює фіксовані канали ієрархії PDH зчіпками віртуальних контейнерів для отримання різної пропускної здатності. [7, с. 231]

Шляхи вирішення проблем передачі даних в мережах NGSDH:

— застосування процедури організації віртуальних ланцюгів контейнерів (VCAT - Virtual conCATenation), включаючи і контейнери VC-3 і VC-12 для забезпечення необхідної пропускної спроможності в магістральному потоці SDH - рекомендація G.707, ред. 2007 [8];

— застосування процедури динамічного управління пропускною здатністю тракту передачі даних в магістралі SDH (LCAS – Link Capacity Adjustment Scheme) - рекомендація G.7042 [9]

— застосування процедури інкапсуляції кадрів передачі даних в зчипки віртуальних контейнерів (GFP - Generic Frame Procedure). Це забезпечує передачу асинхронно-наступних кадрів різної довжини з чітким позначенням їх меж у зчепленні - рекомендація G.7041 [10]

Таким чином, системи SDH наступного покоління представляють собою багатофункціональні мультисервісні платформи. [6]

1.3 Транспортні мережі на основі технологій Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet. Гігабітний Ethernet (GE, GbE, або 1 GigE) Термін, що описує різні технології передачі Ethernet-кадрів зі швидкістю 1 Гігабіт на секунду, що визначаються рядом стандартів групи IEEE 802.3. Використовується для побудови дротових локальних мереж з 1999 року, поступово витісняючи Fast Ethernet завдяки значно більш високій швидкості передачі даних. При цьому необхідні кабелі та частина мережевого обладнання мало відрізняються від використовуваних в попередніх стандартах, широко поширені і мають низьку вартість. Проте, Gigabit Ethernet ставить незрівнянно більш складні технічні завдання і пред'являє набагато вищі вимоги до якості проводки. Іншими словами, він набагато менш універсальний, ніж його попередники.

Специфікація Gigabit Ethernet спочатку передбачала три середовища передачі: одномодовий і багатомодовий оптичний кабель з довгохвильовими

лазерами 1000BaseLX для довгих магістралей для будинків і комплексів будівель, багатомодовий оптичний кабель з короткохвильовими лазерами 1000BaseSX для недорогих коротких магістралей, симетричний екранований короткий 150-Омний мідний кабель 1000BaseCX для з'єднання обладнання в апаратних і серверних. [11]

Таблиця 1.2 – Стандарти Gigabit Ethernet.

| Інтерфейс фізичного рівня | Тип кабелю | Максимальна протяжність (в дужках діаметр волокна) |
|---------------------------|---|---|
| 1000Base SX | Багатомодовий кабель з короткохвильовим лазером (850 нм) | 220 м (62,5 мкм); 500 м (50 мкм) |
| 1000 Base LX | Багатомодовий і одномодовий кабель з довгохвильовим лазером (1300 нм) | Багатомодовий: 550 м (62,5 мкм); 550 м (50 мкм) Одномодовий: 5 км (9мкм) |
| 1000Base CX | Короткий мідний кабель (STP/коаксіал) | 25 м |
| 1000Base T | 4-парний неекранований категорії 5 | 100 м |
| 1000BASE-RH | Пластикове оптоволокно (650 нм) | 50 м |

10 Gigabit Ethernet. 10-Гігабітний Ethernet (10GE, 10GbE, 10GigE), описаний спочатку в попередньому стандарті IEEE 802.3ae, увійшов в остаточну редакцію IEEE Std 802.3-2005 [12]. Він є розвиненим гігабітним Ethernet, швидкість якого була збільшена ще в 10 разів у порівнянні з варіантом гігабітного Ethernet (GE) і в 100 разів, у порівнянні з так званим

швидким Ethernet. При цьому була зроблена спроба зберегти основні особливості базової технології Ethernet. [13]

Таблиця 1.3 – Стандарти 10 Gigabit Ethernet для оптоволокна.

| Інтерфейс фізичного рівня | Тип кабелю | Максимальна протяжність (в дужках діаметр волокна) |
|---------------------------|--|--|
| 10GBASE-SR | Багатомодовий кабель з короткохвильовим лазером (850 нм) | FDDI-клас 25 м (62,5 мкм); Тип OM1 33 м (62,5 мкм); Тип OM2 82 м (50 мкм); Тип OM3 300 м (50 мкм); Тип OM4 400 м (50 мкм); |
| 10GBASE-LR | Одномодовий кабель з довгохвильовим лазером (1300 нм) | Одномодовий: 10 км (9мкм) |
| Стандарт 10GBASE-LRM | Багатомодовий кабель з довгохвильовим лазером (1300 нм) | FDDI-клас та Тип OM1, OM2, OM3 - 220 м |
| 10GBASE-ER | Одномодовий кабель з лазером 1550 нм | 30-40 км |

З появою високошвидкісних оптичних інтерфейсів Gigabit Ethernet та 10 Gigabit Ethernet, що працюють по оптичному волокну, технологія Ethernet вийшла на рівень транспортної і стала використовуватись в міських та обласних транспортних мережах. Це знайшло своє втілення в технології Metro Ethernet.

1.4 Технології оптичного мультиплексування за довжиною хвилі xWDM

Технологія WDM дозволяє одночасно передавати кілька інформаційних каналів по одному оптичному волокну на різних несучих частотах.

Застосування xWDM в мережі оператора в першу чергу диктується дефіцитом оптичного волокна та значною вартістю прокладки нового. Темпи зростання обсягів переданої інформації призводять до швидкого зниження запасів «вільного» («темного») волокна. У деяких випадках, зокрема в містах, багато існуючих кабельних каналів вже заповнені і фізичне збільшення ємності оптичного волокна практично неможливо. [13]

Але крім цієї існують і інші причини використання систем CWDM або DWDM в основі мультисервісної мережі.

Необхідність передачі сигналу 10 Гігабіт Ethernet на великі відстані (100 км і більше), оскільки дальність широкосмугових XFP-трансиверів обмежена через хроматичну дисперсію.

Застосування xWDM дозволяє використовувати функції швидкого відновлення на рівні оптичної, а не пакетної IP / Ethernet-мережі.

З'являється можливість реалізації довільної топології мультисервісної мережі поверх xWDM. Наприклад, організація топології "зірка" між комутаторами Ethernet поверх xWDM-кільця. [13]

Це дозволяє спростити архітектуру мультисервісної мережі, перенести функції захисту на більш низький рівень, залишивши обладнанню пакетної мережі функції підтримки і забезпечення IP-послуг.

Для технологій xWDM сьогодні пропонується широка гама активного і пасивного устаткування, що дозволяє створювати надзвичайно гнучкі мережеві архітектури як за технічними можливостями, так і за функціональним призначенням.

До такого обладнання відносяться:

- трансивери;
- транспондери;
- пасивні оптичні мультиплексори-демультиплексори;
- модулі компенсації хроматичної дисперсії;
- оптичні підсилювачі. [13]

На основі подібного обладнання можливе створення вельми гнучких і топологічно різноманітних мережевих архітектур.

1.5 Технологія оптичної транспортної мережі (OTN)

Оптична транспортна мережа (Optical Transport Network - OTN) об'єднує мережеві ресурси, які виконують функції:

- передачі сигналів інформаційного навантаження;
- контролю і управління мережею передачі інформації.

Принципи цифрової оптичної транспортної мережі реалізуються на апаратному рівні за допомогою інформаційних структур, які використовуються у відповідних функціональних шарах

Набір цифрових інформаційних структур, стандартизованих для транспортування відповідним чином адаптованого навантаження по оптичних транспортних мережах, називається оптичною транспортною ієрархією (OTH).

Основними інформаційними структурами OTH є:

- блок корисного навантаження оптичного каналу (OPUk);
- блок даних оптичного каналу (ODUk);
- транспортний блок оптичного каналу (OTUk);
- оптичний транспортний модуль (OTM-n, m). [3]

Число $k = 1, 2, 3$ - рівень оптичної транспортної ієрархії, який визначає максимальну швидкість передачі сигналу навантаження, підтримувану оптичним каналом.

Оптичний транспортний модуль (ОТМ) складається з цифрової та аналогової частин (Рисунок 1.1).

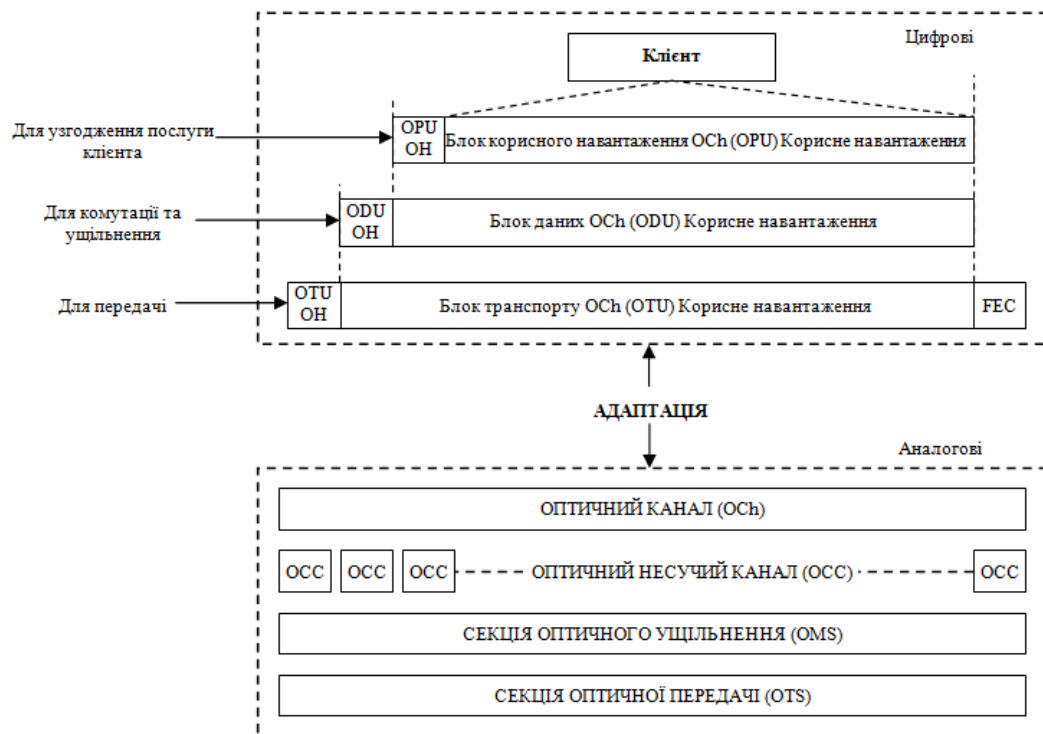


Рисунок 1.1 – Оптичний транспортний модуль ОТМ

Блок корисного навантаження оптичного каналу (OPU) містить кадри корисного навантаження. «Рівень сервісів» представляє сервіси для кінцевих користувачів, наприклад GbE, SONET, SDH, FC і інші протоколи. Сервіси з прозорим узгодженням, наприклад ESCON, GbE або FC, проходять загальну процедуру формування кадрів (GFP).

Блок даних оптичного каналу (ODU_k, де $k = 1/2/2e/3/3e2/4$) містить OPU і байти заголовків, наприклад BIP8, GCC1, TCM і т. д.

Оптичний транспортний блок (OTU_k, де $k = 1/2/2e/3/3e2/4$) містить ODU, надає байти заголовків на рівні розділів, наприклад, BIP8, і підтримує байти основного каналу зв'язку (GCC) для службового зв'язку між вузлами мережі. GCC використовується для експлуатації, адміністрування і технічного обслуговування, включаючи моніторинг продуктивності, виявлення збоїв і передачу сигналів і команд технічного обслуговування для

захисного переключення, секціонування помилок, підготовки звітів на рівні послуг і комунікацій площині управління.

Фізичний рівень погоджує OTU з довжиною хвилі і оптичним каналом (OCh), який проходить уздовж оптичної лінії. На Рисунку 1.1 показана ієрархія OTM для службового зв'язку між вузлами мережі.

OTM-n.m - інформаційні структури, які підтримують в оптичній транспортній мережі з'єднання на рівні оптичної секції передачі (OTS). Оптичні транспортні модулі транспортуються через інтерфейс вузла оптичної транспортної мережі ONNI (Optical Network Node Interface) і являють собою формат оптичного агрегатного (лінійного) сигналу. OTM-n.m складається з неасоційованого заголовка паОН, заголовка загального каналу зв'язку COMMS ОН і групи модульованих оптичних несучих OCG-n, m. Неасоційований заголовок паОН включає в себе заголовки оптичних каналів OCh ОН, заголовок оптичної мультиплексної секції OMS ОН і заголовок оптичної секції передачі OTS ОН. [3.]

Заголовки паОН і COMMS ОН переносяться сигналом заголовка оптичного транспортного модуля OOS в оптичному каналі контролю і управління OSC. Сигнал OOS має формат STM-1 і характеризується структурою циклу і швидкістю передачі. Неасоційований заголовок передається окремо від смуги основного сигналу на довжині хвилі 1510 нм (для DWDM) або на довжині хвилі 1310 нм (для CWDM).

Оптичний канал системи контролю і управління OSC - фізична несуча (1310 нм або 1510 нм) поза межами основної смуги DWDM (1530 ... 1560) нм, CWDM (1471 ... 1611) нм, яка забезпечує транспортування сигналу OOS.

В OTM-n.m число "n" визначає максимальну кількість довжин хвиль, підтримуваних інтерфейсом, а число m = 1, 2, 3, 12, 23, 123 - максимальну швидкість передачі або набір швидкостей передачі, підтримуваних інтерфейсом ONNI. [3]

Оптична мультиплексна секція (OMS) - розташовується між двома пристроями і може мультиплексувати за довжинами хвиль в оптичному волокні (ОВ).

Секція оптичної передачі (OTS) - складається з волокна між елементами, які виконують оптичну обробку сигналу.

Оптоволоконний підсилювач, легований ербієм, (EDFA) - виконує функцію підсилення сигналу в лінії. OTN пропонує шість рівнів моніторингу транзитних з'єднань, які дозволяють оператору відстежувати проходження сигналів по мережах інших операторів. Ця функція допомагає керувати помилками, оскільки заголовок OTN тісно узгоджений з цими пунктами.

1.6 Оптичні компоненти для побудови OTN

Оптичні компоненти для побудови оптичних мереж дозволяють збільшити пропускну здатність волоконно-оптичної системи зв'язку за рахунок одночасної передачі декількох сигналів на різних довжинах хвиль по одному волокну, а також забезпечують ввід/вивід та кросс-комутацію оптичних каналів. Їх можна поділити на два типи: пасивні та активні.

Як приклад використання оптичних компонентів оптичної мережі на Рисунку 1.2 представлена структурна схема ділянки мережі DWDM.

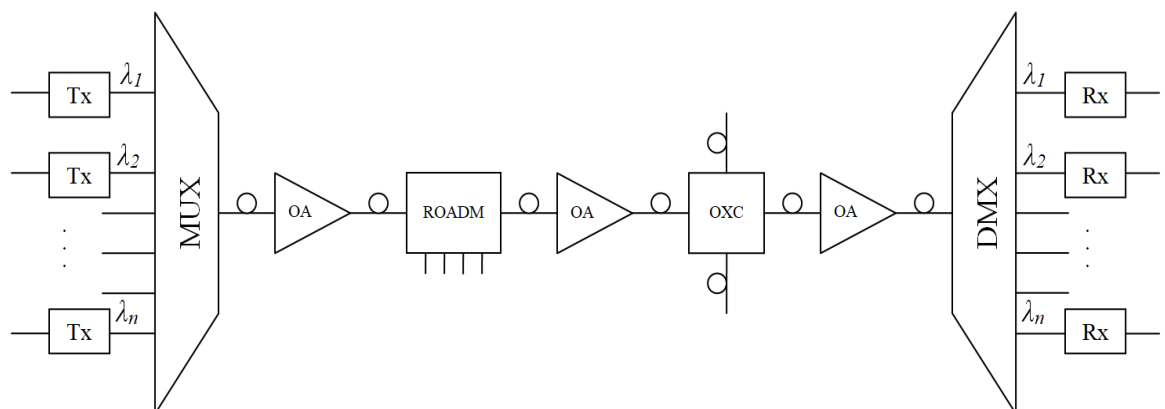


Рисунок 1.2 – Структурна схема ділянки мережі DWDM

Пасивними компонентами є оптичні мультиплексори і демультимплексори, оптичні мультиплексори введення/виведення, оптичні кросс-комутатори і компенсатори хроматичної дисперсії. [3.]

Оптичний мультиплексор (MUX) об'єднує сигнали різних довжин хвиль, які генеруються «кольоровими» оптичними передавачами інтерфейсів SDH, GE, 10GE та транспондерів, в багатоканальний складений оптичний сигнал, який надалі розповсюджується по ОВ.

Оптичний демультимплексор (DMX) на дальньому кінці мультиплексної секції виконує розділення по довжині хвилі складеного оптичного сигналу на канальні оптичні сигнали.

Операція демультимплексування є зворотною по відношенню до операції мультиплексування і може бути виконана одними і тими ж пристроями, якщо вони мають властивості оборотності.

Реконфігуруємі оптичні мультиплексори вводу/виводу (ROADM) забезпечують можливість програмно вводити та виділяти будь-яку комбінацію оптичних каналів з напрямів, що сходяться у вузлі оптичної мережі. Вони використовуються на проміжних вузлах для програмного вводу чи виводу в чи з складеного сигналу одного чи групи місцевих оптичних каналів. При цьому інші канали є наскрізними та проходять через вузол транзитом.

Оптичні кросс-комутатори (ОХС) використовуються в найбільш навантажених вузлах мережі, де сходяться три, або більше напрямків. Вони виконують кросс-комутацію оптичних каналів між різними напрямками. Тобто, дозволяють перенаправляти оптичні канали по новим напрямкам.

Компенсатори хроматичної дисперсії (DC) вводять в склад лінійного тракту DWDM для корекції форми імпульсів цифрового сигналу.

Найбільш розповсюджені пристрої компенсації хроматичної дисперсії є розподілені та дискретні.

Активними компонентами є оптичні передавачі, оптичні приймачі, оптичні підсилювачі, оптичні транспондери. [3.]

Оптичний передавач (OT) - пристрій, що перетворює вхідний електричний сигнал у вихідний оптичний сигнал, призначений для передачі по оптичному волокну. Оптичні приймачі (OR) виконують зворотне перетворення.

Оптичні транспондери (TRP) – призначені для вводу/виводу оптичних сигналів інформаційного навантаження безпосередньо в оптичні канали xWDM, а також для забезпечення регенерації сигналів в оптичних каналах.

Оптичні підсилювачі (OA) - встановлюються в лінійному тракті DWDM при великій довжині оптичної мультиплексної секції. Вони забезпечують компенсацію втрат в оптичному волокні і в пасивних компонентах DWDM .

1.7 Висновки до розділу 1

В першому розділі були розглянуті особливості технології синхронної цифрової ієрархії (SDH, NGSDH) та оптичної транспортної мережі (OTN), транспортні мережі на основі технологій Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, технології оптичного мультиплексування за довжиною хвилі xWDM.

Зазначено, що технологія OTN на відміну від інших має суттєві переваги, що призводить до її застосування як на магістральних мережах, так і на міських, обласних, а також на мережах мобільних операторів.

OTN забезпечує ефективне використання пропускної здатності оптичного волокна, надійність за рахунок резервування на мережевому та апаратному рівнях, гнучкість і масштабованість оптичної інфраструктури, дистанційне управління мережею та її моніторинг, що в результаті дає змогу користувачам отримувати високу якість послуг.

2 ПОБУДОВА ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ НА БАЗІ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПЛАТФОРМ

2.1 Призначення, склад та основні функції мультисервісних транспортних платформ

Побудова оптичної транспортної мережі здійснюється на базі обладнання мультисервісних транспортних платформ. Для забезпечення функціонування оптичної транспортної мережі використовуються відповідні конфігурації мережевих елементів.

Як відомо мультисервісна мережа - це інфраструктура, яка використовує єдиний канал для передачі даних різних типів трафіку. Вона дозволяє зменшити різноманітність типів обладнання, застосовувати єдині стандарти і єдину кабельну систему, централізовано керувати комунікаційним середовищем для надання найбільш повного спектру послуг. [15]

Гнучкість, простота управління і що найголовніше швидкість передачі та обробки даних в мультисервісних мережах надають їм переваги над мережами традиційної архітектури. Мультисервісні мережі можна з'єднувати з уже існуючими та нарощувати нову апаратуру і можливості без великих витрат. Ці мережі ефективно використовують єдину транспортну інфраструктуру для передачі всіх типів трафіку завдяки статистичному мультиплексуванню. Інтеграція трафіку різнорідних даних і голосу дозволяє добитися якісного підвищення ефективності інформаційної підтримки управління підприємством, при цьому використання інтегрованого транспортного середовища дозволяє знизити витрати на створення і експлуатацію мережі. [16]

Мультисервісні транспортні платформи - це апаратура транспортних мереж. Вона є основою побудови мереж NGN. Вона є злиттям у єдину уніфіковану інтелектуальну мультисервісну транспортну мережу численних

мережевих інфраструктур, платформи мають різне конструктивне виконання і різні функціональні особливості.

На рисунку 2.1 представлена архітектура платформи MSPP.

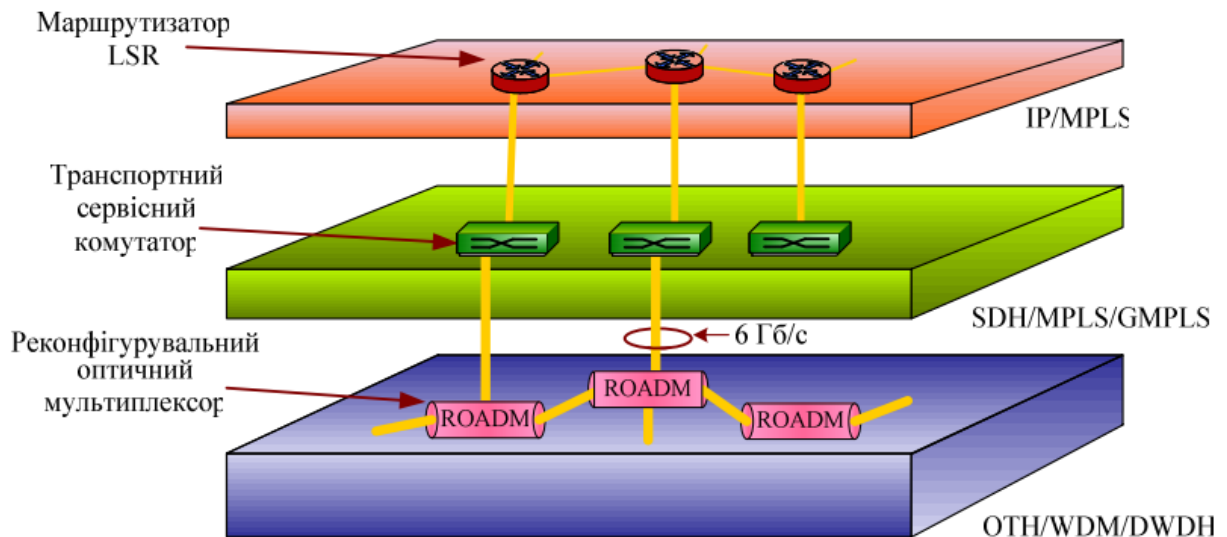


Рисунок 2.1 - Архітектура платформи MSPP [17]

Є кілька різновидів платформ:

- MSPP, Multi Service Provisioning Platform – мультисервісна об'єднана платформа - перша версія транспортних платформ, в яких були об'єднані можливості мереж SDH і мереж пакетної передачі користувальницького трафіку IP, Ethernet (1999 рік);

- MSTP, Multi Service Transport Platform - мультисервісна транспортна платформа - являє собою інтелектуальну платформу для послуг з одного боку і ефективного використання волоконно-оптичного середовища за рахунок технологій DWDM і CWDM (2001 рік);

- MSSP, Multi Service Switching Platform - мультисервісна комутаційна платформа - забезпечує послуги гнучкої комутації з'єднань в вузлах мережі, захисні перемикання на будь-якому рівні (секцій, трактів, хвильових каналів, призначеного для користувача трафіку);

- платформи типу LH (Long Haul) або ELH (Extended Long Haul) в одній системі інтегруються з іншими платформами (MSTP, MSSP) і призначені для протяжних ліній транспортних мереж з великим числом оптичних каналів (40 - 320 і більше);

- оптичні платформи з генеруючими транспондерами, оптичними мультиплексорами введення/виведення OADM і реконфігурованими оптичними мультиплексорами введення/виведення ROADM із застосуванням сіток довжин хвиль та частот CWDM та DWDM. [18]

Останнім часом, в Україні достатньо широко використовуються платформи з генеруючими транспондерами, OADM і ROADM, такі як серія Cisco ONS 15454. З її допомогою оператори і провайдери можуть підвищити щільність послуг в своїй мережі DWDM і динамічно розширювати пропускну здатність, а це, в свою чергу відображається і на швидкості передачі всієї системи.

Мультисервісні транспортні платформи (MSTP) є найбільш поширеним типом апаратури волоконно-оптичних систем передачі. Вони забезпечують інтеграцію на апаратному рівні декількох мережевих технологій, наприклад, SDH, DWDM, ATM, IP, Ethernet, і дозволяють реалізувати їхні переваги:

- велику пропускну здатність систем DWDM;
- керованість,
- захист цифрових потоків,
- розширені можливості крос-комутації,
- надійність і якість послуг SDH;
- ефективне транспортування трафіку даних IP, ATM і Ethernet.

Оптичні транспортні платформи DWDM дозволяють виконувати такі основні функції:

- мультиплексування / демultipлексування оптичних каналів;
- регенерацію сигналів оптичних каналів;
- підсилення багатохвильових оптичних сигналів;

- введення і виведення оптичних каналів DWDM;
- захист цифрових потоків на мережевому і апаратному рівні; організацію каналів службового зв'язку і передачі даних;
- місцевий і віддалений контроль і управління мережевим елементом.

Апаратура мультисервісної транспортної платформи має модульний принцип побудови, тому додавання або видалення певних плат і модулів дозволяє створювати різні конфігурації мережевих елементів і вузлів мережі. [19]

До складу транспортної платформи входять наступні підсистеми:

- управління і зв'язку;
- обробки трафіку;
- захисту трафіку;
- тактової синхронізації;
- електроживлення;
- охолодження.

Залежно від виконуваних функцій компоненти апаратури можна поділити на кілька груп:

- загальні плати і модулі;
- оптичні транспондери;
- компоненти DWDM;
- оптичні підсилювачі;
- допоміжне обладнання.

2.2 Оптичні компоненти мультисервісних транспортних платформ

Як зазначалось вище, до оптичних компонентів відносяться оптичні транспондери; компоненти DWDM; оптичні підсилювачі.

Розглянемо оптичні компоненти MSTP на основі серії транспортних платформ ONS 15454 фірми Cisco.

Плати оптичних транспондерів ONS 15454 бувають наступних видів:

- Плата багатошвидкісного транспондера TXP_MR_10E_C;
- Плата мультиплексуючого транспондера MXP_2,5G_10E_C;
- Плата мультиплексуючого транспондера MXP_MR_10DME_C;
- Плата мультиплексуючого транспондера 40ME_MXP_C;
- Плата транспондера 100G_LC_C;
- Плата мультиплексуючого транспондера 10x10G_LC.

Як приклад нижче наведені призначення та функціонування плати транспондера TXP_MR_10E_C та мукспондера MXP_MR_10DME_C. Різниця між транспондером та мукспондером полягає в тому, що транспондер проводить обробку одного клієнтського сигналу, а мукспондер спочатку об'єднує декілька клієнтських сигналів, а потім вводить їх в оптичний канал DWDM на частоті відповідно до частотного плану G.694.1.

Плата багатошвидкісного транспондера TXP_MR_10E_C забезпечує на передачі введення клієнтських сигналів STM-64 або 10G6E (10 GbE WAN PHY або LAN PHY) безпосередньо в оптичні канали DWDM, а на прийомі - виведення компонентних клієнтських сигналів. Структурна схема плати TXP_MR_10E_C приведена на рисунку 2.2.

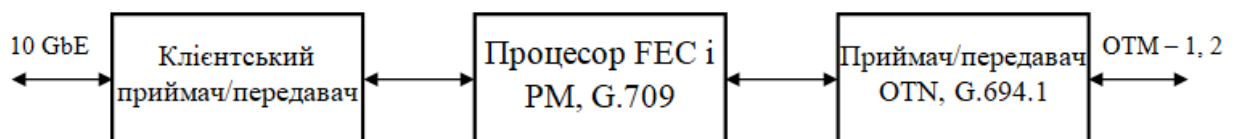


Рисунок 2.2 - Структурна схема плати TXP_MR_10E_C

До складу плати входять наступні структурні елементи:

- клієнтський оптичний приймач;
- процесор пакувальника і прямого виправлення помилок;

- лінійний оптичний приймач DWDM;
- контролер плати (процесор + 3У/μР + RAM + флеш-пам'ять);
- перетворювач напруги DC/DC. [20,21]

Клієнтський приймач виконує функції оптичного інтерфейсу 10GbE. У клієнтському приймачі інтерфейсний оптичний сигнал 10GbE перетворюється в електричний сигнал внутрішнього формату. З сигналу виділяється складова тактової частоти і формується відновлений сигнал тактової частоти. Після цього імпульси сигналу 10GbE повністю відновлюються, тобто здійснюється регенерація типу 3R.

Регеновані сигнали 10GbE і відновлені сигнали тактової частоти надходять в процесор пакувальника і системи прямого виправлення помилок.

У процесорі пакувальника сигнал 10GbE структурується, тобто розміщується в циклах блоків даних ODU2, які потім мультиплексуються в цикли транспортних блоків оптичного каналу OTU2. При цьому може формуватися код з виправленням помилок FEC або EFEC. [22]

Блоки OTU2 є навантаженням оптичного каналу. Вони надходять на модулятор лінійного передавача і модулюють несучу частоту оптичного каналу. В результаті, на виході лінійного передавача формується інтерфейсний сигнал OTM-1.2, призначений для передачі по мережі DWDM.

Швидкість передачі лінійного сигналу OTM-1,2 залежить від швидкості передачі клієнтського сигналу (10 Gigabit Ethernet WAN, 10 Gigabit Ethernet LAN) і становить:

- 9.95328 Гбіт/с в разі STM-64 без FEC;
- 10.70923 Гбіт/с в разі STM-64/10 Gigabit Ethernet WAN PHY с FEC;
- 11.095 Г біт/с в разі 10 Gigabit Ethernet LAN PHY с FEC (over-docking mode / режим роботи на підвищеній швидкості передачі). [23]

Плата TXP_MR_10E, крім основних функцій, підтримує такі допоміжні функції:

- моніторинг експлуатаційних показників трактів ODU2 і секції OTU2;
- моніторинг експлуатаційних показників секцій SDH;
- захист оптичних каналів по схемі 1+1 на основі даних контролю експлуатаційних показників;
- резервування плат транспондера по схемі 1+1;
- автоматичне вимикання лазера при втраті оптичного сигналу на вході клієнтського або лінійного приймача;
- світлодіодну аварійну індикацію. [23]

В додатку А наведені рисунок лицьової плати та план каналного розподілу для плати MXP_MR_10DME_C.

Плата мультиплекуючого транспондера – мукспондера – MXP_MR_10DME_C забезпечує на передачі об'єднання і введення до восьми клієнтських сигналів GbE безпосередньо в оптичний канал DWDM, а на прийомі - виведення і розподіл каналних оптичних сигналів на компонентні клієнтські сигнали. Структурна схема плати MXP_MR_10DME_C приведена на рисунку 2.3.

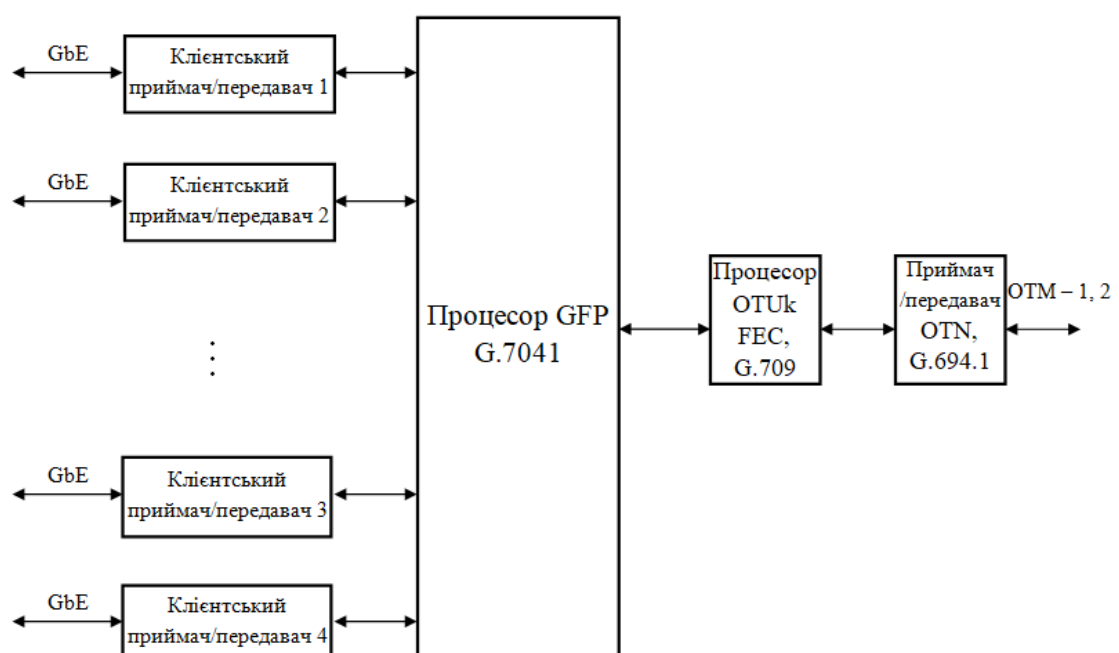


Рисунок 2.3 - Структурна схема плати MXP_MR_10DME_C

До складу плати входять наступні структурні елементи:

- клієнтські оптичні приймачі GbE;
- процесор GPF;
- процесор пакувальника і прямого виправлення помилок;
- лінійний оптичний приймач DWDM;
- контролер плати (процесор + ЗУ/μР ++ RAM + флеш-пам'ять);
- модуль перетворювача напруги DC/DC.

Клієнтські приймачі виконують функції інтерфейсів GbE. У кожному з клієнтських приймачів інтерфейсний оптичний сигнал перетворюється в електричний сигнал GbE внутрішнього формату. З сигналу виділяється складова тактової частоти і формується відновлений сигнал тактової частоти. Після цього імпульси сигналу GbE повністю відновлюються, тобто виконуються функції регенерації типу 3R.

Регеновані сигнали GbE і відновлені сигнали тактової частоти надходять в процесор GPF, де вони за допомогою процедури загального формування кадрів [22] розміщуються в кадрах GPF. Потім кадри GPF кожного з компонентних потоків інкапсулюються в зчіпки віртуальних контейнерів VC-4-Xc (до 8xVC-4 на порт GbE), які потім вводяться в цикли сигналів STM-16. Всі заголовки SDH проходять через плату прозоро.

У процесор пакувальника і прямого виправлення помилок кожен з чотирьох потоків STM-16 структурується, тобто асинхронно розміщується в циклах блоків даних ODU1, і потім блоки ODU1 мультиплексуються в цикли транспортних блоків оптичного каналу OTU2. При цьому може формуватися код з виправленням помилок FEC або EFEC. [23, ст. 332-339]

Блоки OTU2 є навантаженням оптичного каналу. Вони надходять на модулятор лінійного передавача і модулюють несучу частоту оптичного каналу. В результаті на виході лінійного передавача формується інтерфейсний сигнал OTM-12, призначений для передачі по мережі DWDM. [20, 21]

Плата MXP_MR_10MDE_C, крім основних функцій, підтримує такі допоміжні функції:

- моніторинг експлуатаційних показників трактів ODU1, ODU2 і секцій OTU2;
- моніторинг експлуатаційних показників GbE;
- захист оптичних каналів по схемі 1+1 на основі даних контролю експлуатаційних показників;
- резервування плат транспондера по схемі 1+1;
- автоматичне вимикання лазера при втраті оптичного сигналу на вході клієнтського або лінійного приймача;
- світлодіодну аварійну індикацію.

В додатку Б наведені рисунок лицьової плати та план каналного розподілу для плати MXP_MR_10DME_C.

Плата мультиплексуєчого транспондера 40ME_MXP_C забезпечує транспортування в одному оптичному каналі з пропускною спроможністю 40 Гбіт/с до чотирьох сигналів інформаційного навантаження: 10 Gigabit Ethernet LAN-PHY; 8 Gigabit Fiber Channel і STM-64. Плата мультиплексуєчого транспондера підтримує групу модулів XFP різного типу і допускають їх гарячу заміну. Це підвищує гнучкість мережі і зменшує обсяг попереднього опрацювання проекту.

Передавач лінійного порту можна програмно перебудовувати в діапазоні 1529,55...1561,83 нм з кроком в 50 ГГц, що значно зменшує необхідний перелік запасних компонентів.

Плата транспондера 100G_LC_C підтримує оптичні канали з пропускною спроможністю 100 Гбіт/с і дозволяє створювати конфігурації транспондера введення/виведення клієнтських сигналів (TXP-100G) або транспондера-регенератора сигналів оптичних каналів (RGN-100G) . [20, 21]

Одним з основних компонентів плати 100G-LC-C є модуль лінійного приймача DWDM. Для підвищення спектральної ефективності системи в

лінійному передавачі застосовується диференціальна квадратурна фазова модуляція і когерентно-поляризаційне мультиплексування CP-DQPSK.

Для забезпечення оптимального співвідношення пропускну спроможність/дальність зв'язку плата підтримує такі програмно настраюються алгоритми системи прямого виправлення помилок:

- 7% GFEC на базі Рек. G.975 G-FEC Ріда-Соломона;
- 20% UFEC на базі Рек. G.975.11.7;
- 7% HGFEC третього покоління.

Плати і модулі DWDM ONS 15454 наступні:

- Плата селективного комутатора оптичних каналів 32-WSS;
- Плата оптичного демультимплексора 32-DMX-C;
- Плата селективного комутатора оптичних каналів 40-WSS-C;
- Плата оптичного демультимплексора 40-DMX-C;
- Плата крос-комутації оптичних каналів 40-WXC-C;
- Панелі оптичних мультиплексорів і демультимплексорів 15216-MD-40;
- Плата одномодульного ROADM 40-SMR1;
- Плата одномодульного ROADM 40-SMR2-C.

Плата 32-WSS забезпечує в вузлі ROADM введення і виділення до 32 оптичних каналів. Обробка оптичних сигналів в платі 32-WSS здійснюється наступним чином. На передачі багатохвильовий оптичний сигнал надходить в порт EXP RX з іншої плати 32WSS і в секції демультимплексування розділяється до рівня сигналів 32-х оптичних каналів. З виходів оптичного демультимплексора сигнали кожного каналу надходять на оптичні перемикачі, які забезпечують введення або транзитну передачу оптичних сигналів. [24]

Управління станом перемикачів здійснюється програмно. Якщо вибирається сигнал порту введення ADD RX, то оптичний сигнал, що надходить від демультимплексора, блокується.

Таким чином, плата 32WSS забезпечує транзитну передачу сигналів оптичних каналів порту EXP RX і введення місцевих оптичних каналів портів ADD RX. Структурна схема плати 32WSS приведена на рисунку 2.4

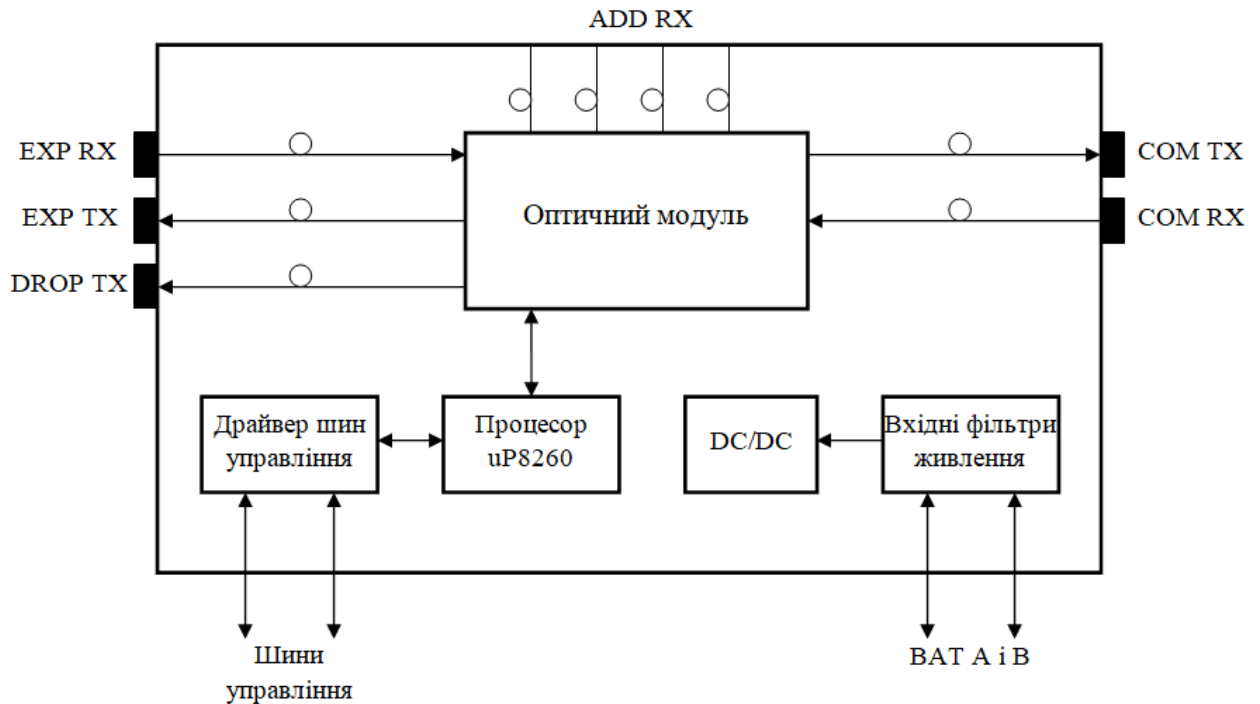


Рисунок 2.4 - Структурна схема плати 32-WSS

До складу плати входять наступні компоненти:

- оптичний модуль;
- мікропроцесор плати UP8260;
- драйвер шин управління;
- вхідні фільтри електроживлення;
- перетворювач напруги DC / DC. [23]

На прийомі багатохвильовий оптичний сигнал надходить в порт COM RX і направляється до оптичного розгалужувача плати 32WSS, який відгалужує 20% потужності оптичного сигналу до порту DROP TX, який з'єднується всередині мережевого елемента з портом COM RX плати 32-DMX-C. У платі оптичного демультиплексора 32-DMX-C здійснюється

розподіл багатохвильового оптичного сигналу на окремі місцеві оптичні канали і їх виділення.

Плата селективного комутатора оптичних каналів 40-WSS-C забезпечує в ROADM введення, комутацію і виділення до 40 оптичних каналів. Для реалізації функціональних можливостей ROADM плата 40-WSS-C використовується спільно з платою оптичного демультиплексора 40-DMX-C.

Плата 40-DMX-C є оптичним демультиплексором і забезпечує в ROADM виділення місцевих оптичних каналів. Для реалізації функціональних можливостей ROADM плата 40-DMX-C використовується спільно з платою 40-WSS. Структурна схема плати 40-DMX-C показана на Рисунку 2.9.

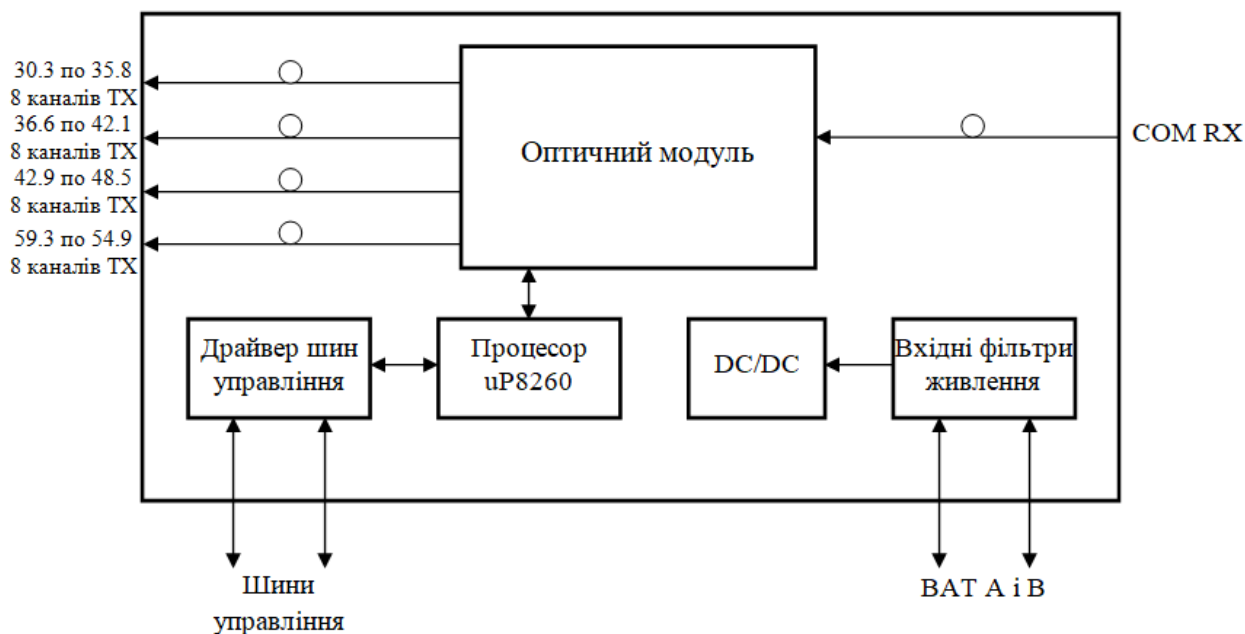


Рисунок 2.9 - Структурна схема оптичного модуля плати 40-DMX-C

— Основним елементом плати 40-DMX-C є оптичний модуль. Модуль приймає багатохвильовий оптичний сигнал, що надходить в порт COM RX, і розділяє його на 40 каналних сигналів відповідно до каналного плану, що наведений у додатках в Таблиці 2.1. [23]

— Порт COM RX забезпечений керованим оптичним атенюатором VOA для регулювання повної оптичної потужності, а також фотодіодом P41 для моніторингу загальної оптичної потужності на вході. З метою захисту (наприклад, при несправності системи електроживлення) за замовчуванням встановлюється максимальне загасання VOA. [23 ст. 235]

Порти виділення DROP TX забезпечені фізичними фотодіодами P1 ... P40 для моніторингу каналної оптичної потужності.

Плата крос-комутації оптичних каналів 40-WXC-C є крос-комутатором оптичних каналів C-діапазону. Вона селективно передає будь-яку комбінацію сигналів оптичних каналів, що надходять з дев'яти вхідних портів EXP RX до загального порту COM TX. Плата є пасивною і забезпечує двосторонню передачу оптичних сигналів.

Для підтримки функціональних можливостей вузла кросс-комутації оптичних каналів плати 40-WXC-C використовуються спільно з патч-панеллю комутації PP-MESH-4 або PP-MESH-8, а також з платами 40-MUX-C і 40-DMX-C. [23, ст. 261 - 267]

Основними елементами плати WXC є оптичний модуль і оптичний розгалужувач. Оптичний модуль WXC підтримує такі функції:

- демультимплексування багатохвильових оптичних сигналів дев'яти напрямків, що надходять до портів EXP RX;
- вибір будь-якої комбінації з 40 оптичних каналів;
- мультиплексування сигналів обраних каналів і передачу їх в загальний порт COM TX;
- контроль оптичної потужності в кожному каналі за допомогою фотодіодів;
- програмне регулювання загасання в трактах за допомогою керованих оптичних атенюаторів VOA.

Серія патч-панелей оптичних мультиплексорів і демультимплексорів 15216-MD-40 виконана на основі технології не термостатованих AWG, яка

дозволяє створювати мультиплексори і демультимплексори DWDM з такими ж оптичними параметрами, як у AWG з активним термостативуванням [20]

Цей технологічний прорив дозволяє операторам вводити в експлуатацію 40- і 80-канальні системи DWDM, що забезпечують вигоду за рахунок звільнення установчих позицій в шасі і зменшення потужності, споживаної оптичними мультиплексорами і демультимплексорами, практично до нуля.

Випускаються два типи панелей 40-канальних мультиплексорів і демультимплексорів:

- 15216-MD-40-ODD - з непарним канальним планом;
- 15216-MD-40-EVEN - з парним канальним планом.
- Патч-панель 15216-MD-40 є автономним пристроєм, який містить модуль 40-канального оптичного мультиплексора і модуль 40-канального оптичного демультимплексора, попередньо з'єднаних кабелями в корпусі патч-панелі для зручності автоматичної конфігурації. [24]
- Модуль мультиплексора об'єднує канальні сигнали портів Chi-RX ($I = 1 \dots 40$) в агрегатний сигнал порту COM-TX. Спрямований відгалужувач об'єднує агрегатний сигнал з додатковим зовнішнім сигналом, що вводиться в порт AUX-RX (MUX), а вбудований розгалужувач відгалужує 1% потужності агрегатного сигналу до порту MON-TX (MUX), що використовується для моніторингу. [23]

Модуль демультимплексора розділяє агрегатний сигнал порту COM-RX на канальні сигнали портів TX. Для організації моніторингу вбудований розгалужувач відгалужує 1% потужності агрегатного сигналу, що надходить з порту COM-RX, до порту MON-TX (DMX).

Оптичні мультиплексори і демультимплексори є повністю пасивними пристроями і забезпечують мультиплексування/демультиплексування оптичних сигналів в системах DWDM з розносом по частоті 100 ГГц.

Особливості патч-панелей:

- мала дисперсія;
- малі вносимі втрати;
- більша ізоляція каналів;
- широкий діапазон робочих частот (перекриття всього C-діапазону);
- мультиплексування і демультимплексування 40 каналів;
- відсутність термостатизування і, як наслідок, нульова споживана потужність.

Патч-панелі 15216-MD-40-ODD/EVEN і 15216-MD-ID-50 забезпечують наступні споживчі переваги:

- економічно ефективні програми для DWDM;
- найкраща в своєму класі ефективність експлуатації;
- для запобігання випадкового пошкодження кабельних з'єднань патч-панель закривається дверцятами;
- вбудовані направляючі забезпечують захист оптичного кабелю від різких вигинів;
- наявність USB порту для забезпечення інвентаризації пасивних пристроїв;
- введення в експлуатацію патч-панелі в попередньо скомпонованому вигляді.

Плата одномодульного ROADM 40-SMR1 призначена для використання в реконфігурованих вузлах введення/виведення оптичних каналів. Вона забезпечує введення/виведення каналу OSC, високочутливе підсилення вхідного багатохвильового сигналу, а також підтримує транзитну передачу сигналів оптичних каналів і введення/виведення місцевих оптичних каналів.

Структурна схема плати показана на рисунку 2.5. [23, ст. 275 - 279]

До складу плати входять:

- оптичний модуль ROADM;

- мікропроцесор плати;
- драйвер шин управління;
- вхідні фільтри електроживлення;
- DC / DC - перетворювач напруги.

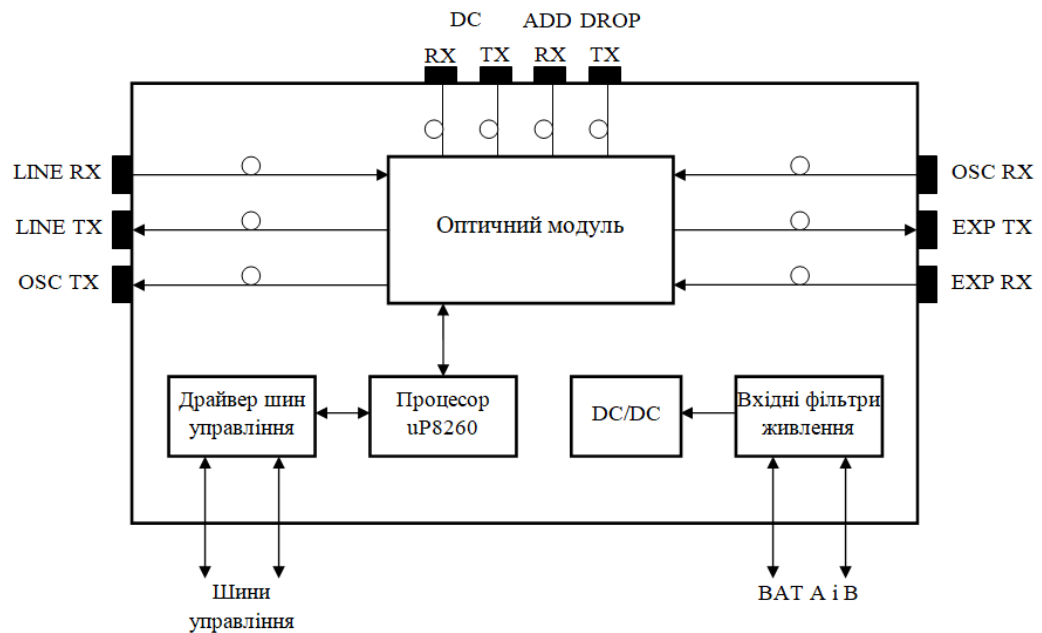


Рисунок 2.5 - Структурна схема плати 40-SMR1-C

OSC ADD / OSC DROP - фільтр OSC, забезпечує введення каналу OSC в тракт передачі і висновок каналу OSC з тракту прийому. Сигнал каналу OSC формується і обробляється в платі OSCM, яка підключається до портів OSC-TX і OSC-RX.

EDFA - двокаскадний попередній підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення призначений для малозавадного підсилення вхідного багатохвильового сигналу і компенсації втрат потужності оптичного сигналу в пасивних компонентах DWDM.

TAP –розгалужувач, що забезпечує поділ потужності вихідного сигналу попереднього підсилювача в співвідношенні 70% до 30%. При цьому 70% потужності передаються в наскрізний тракт (порт EXP-TX).

VOA2 – регульований оптичний атенюатор, вбудований в тракт виділення, використовується для узгодження рівня каналної потужності з чутливістю фотоприймачів транспондерів.

1x2 WXC – крос-комутатор оптичних каналів, який об'єднує в своєму вихідному порту оптичні канали, що приймаються з портів ADD-RX або EXP-RX. Крім того, він забезпечує установку необхідного рівня потужності в кожному з каналів, а також здійснює контроль оптичної потужності.

— OCM – блок моніторингу оптичних каналів, виконує моніторинг каналної потужності в портах DROP-RX, EXP-RX, ADD-RX і LINE-TX. [23, ст. 277 - 278]

Плата одномодульного ROADM 40-SMR2-C призначена для використання в вузлах крос-комутації та введення/виведення оптичних каналів. Вона забезпечує введення/виведення каналу OSC, посилення багатохвильового сигналу, а також підтримує крос-комутацію оптичних каналів і введення/виведення місцевих оптичних каналів. Структурна схема плати показана на рисунку 2.6. [24]

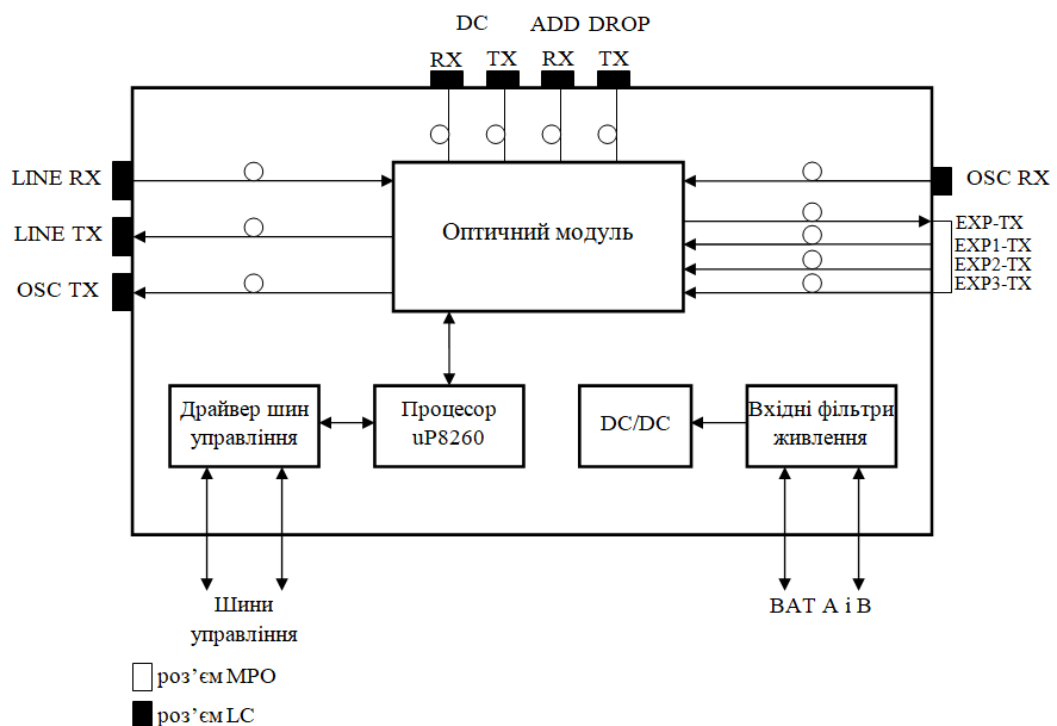


Рисунок 2.6 - Структурна схема плати 40-SMR2-C

До складу плати входять:

- оптичний модуль ROADM;
- мікропроцесор плати;
- драйвер шин управління;
- вхідні фільтри електроживлення;
- DC/DC - перетворювач напруги.

На відміну від плати 40-SMR1-C плата 40-SMR2-C має два оптичних підсилювача і блок кросс-комутатора на 4 напрями передачі 1x4 WXC.

EDFA1 – двокаскадний попередній підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення, забезпечує підключення між портами DC-TX і DC-RX модуля компенсації хроматичної дисперсії DCU.

EDFA2 – однокаскадний вихідний оптичний підсилювач з фіксованим коефіцієнтом підсилення (17 дБ), призначений для збільшення рівня потужності багатохвильового оптичного сигналу на вході ділянки волоконно-оптичної лінії.

1x4 WXC – блок крос-комутатора оптичних каналів, об'єднує в своєму вихідному порту LINE-TX оптичні канали, що приймаються з портів ADD-RX або EXP.-RX. Крім того, він забезпечує установку необхідного рівня потужності в кожному з каналів, а також здійснює контроль оптичної потужності. [23, ст. 281 - 282]

Для контролю потужності у вхідних і вихідних портах плати 40-SMR2-C використовуються вісім фізичних фотодіодів (PD1...PD8), а також блок ОСМ. Плати 40-SMR2-C забезпечують ефективну підтримку вузлів ROADM з двома напрямками і можливість масштабування їх до рівня вузлів з чотирма напрямками, які працюють в С-діапазоні з непарними каналами.

Плати оптичних підсилювачів ONS 15454 бувають наступних видів:

- Плата попереднього оптичного підсилювача OPT-PRE;
- Плата вихідного оптичного підсилювача OPT-BST;

— Плати універсальних оптичних підсилювачів OPT-EDFA-17 і OPT-EDFA-24.

Плата попереднього оптичного підсилювача OPT-PRE призначена для малозавадного підсилення вхідного багатохвильового сигналу і компенсації втрат потужності оптичного сигналу в пасивних компонентах DWDM. Структурна схема плати OPT-PRE показана на рисунку 2.7.

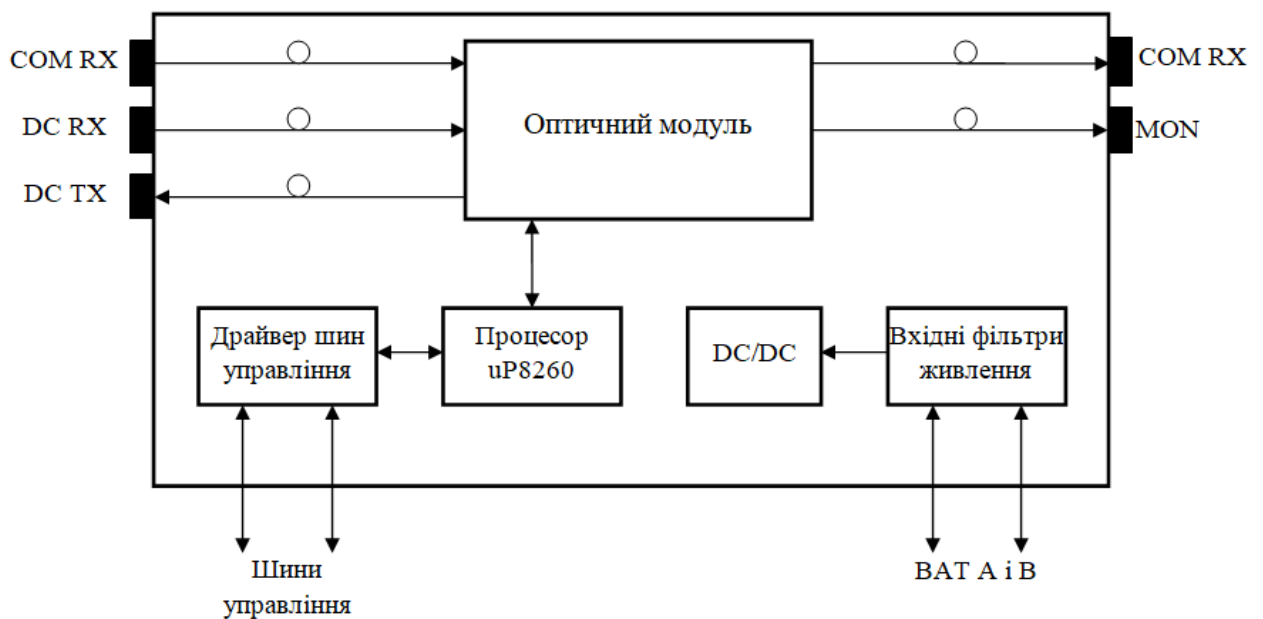


Рисунок 2.7 - Структурна схема плати OPT-PRE

До складу плати входять наступні компоненти:

- оптичний модуль;
- процесор плати;
- вхідні фільтри електроживлення;
- перетворювач напруги;
- драйвер шин контролю і управління.

Оптичний модуль являє собою двокаскадний малозавадний підсилювач EDFA. Каскади підсилення обладнані окремими вхідним і вихідним роз'ємами. Між роз'ємами DC TX (вихід першого каскаду) і DC RX (вхід

другого каскаду) можна приєднувати так званий середній каскад, наприклад, блок компенсації хроматичної дисперсії DCU.

До складу оптичного модуля входить регульований оптичний атенюатор (VOA), який використовується для регулювання потужності на виході підсилювача.

Плата OPT-PRE забезпечує контроль потужності оптичних сигналів в портах прийому і передачі кожного з каскадів за допомогою фізичних фотодіодів P1, P2, P3 і P4.

Плата вихідного оптичного підсилювача OPT-BST призначена для підсилення вихідного багатохвильового сигналу DWDM і забезпечення достатньої оптичної потужності для компенсації втрат в оптичному волокні між вузлами мережі. Ця плата включає в себе модуль введення/виокремлення оптичного каналу контролю і управління OSC (splitter - розгалужувач і combiner - об'єднувач) для забезпечення зв'язку з платою OSCM. Плата може використовуватися в будь-якому вузлі, де потрібне підсилення вихідного багатохвильового сигналу. Структурна схема плати OPT-BST показана на рисунку 2.8. [23, ст. 97]

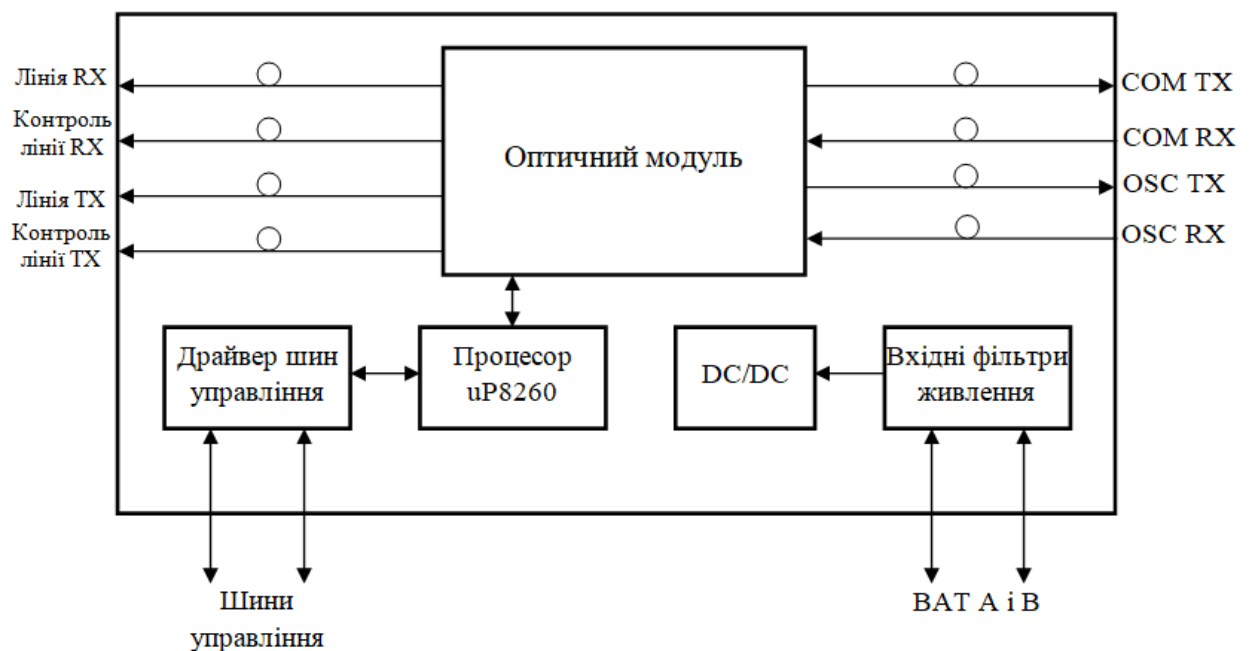


Рисунок 2.8 - Структурна схема плати OPT-BST

Плата OPT-BST забезпечує контроль потужності оптичних сигналів в портах прийому і передачі за допомогою фізичних фотодіодів P1, P2, P3 і P4.

Існуючі оптичні підсилювачі з можливістю підключення модулів компенсації хроматичної дисперсії (DCU) не ефективні при переході на нові сервіси, засновані на модуляції CP-DQPSK. Тому, починаючи з релізу 9.3, випускається нова серія універсальних EDFA-підсилювачів, яка включає дві моделі: OPT-EDFA-17 і OPT-EDFA-24. Обидві моделі підсилювачів побудовані за єдиним дизайном, з використанням загальних компонентів і прошивок, що знижує вартість і спрощує виробництво і тестування. [23, 24]

Плати OPT-AMP-17-C і OPT-EDFA-24 є підсилювачами EDFA C-діапазону з можливістю введення / виведення каналу OSC. Структура плат OPT-AMP-17-C і OPT-EDFA-24 аналогічна структурі на рисунку 2.8.

Оптичний модуль плати являє собою оптимізований за коефіцієнтом шуму однокаскадний підсилювач EDFA, призначений для використання в системах з новими форматами модуляції типу CP-DQPSK.

Системи з модуляцією CP-DQPSK не вимагають компенсації дисперсії, тому оптичний модуль не містить проміжного каскаду для під'єднання модуля компенсації хроматичної дисперсії DCU.

До складу оптичного модуля входять вбудований фільтр регулювання нахилу АЧХ, а також оптичні фільтри введення (OSC ADD) і виведення (OSC DROP) сигналу каналу OSC

2.3 Конфігурації вузлів оптичної транспортної мережі

Апаратура оптичної транспортної платформи має модульний принцип побудови, тому додавання або видалення плат та модулів, а також зміна програмного забезпечення дозволяє створювати різноманітні конфігурації мережевих елементів та вузлів мережі.

В залежності від виконуваних функцій, в ОТМ можуть використовуватись наступні види вузлів:

- Вузол підсилення оптичних сигналів;
- Вузол термінації DWDM;
- Вузол вводу/виводу оптичних каналів;
- Вузол кросс-комутації оптичних каналів;

Розглянемо детальніше функції, структурні схеми та функціонування цих вузлів.

Вузол підсилення оптичних сигналів виконує такі основні функції:

- Підсилення багато хвильового оптичного сигналу;
- Компенсація хроматичної дисперсії;
- Забезпечення контролю управління обладнанням мережевого елемента [20]

Структурна схема вузла підсилення оптичних сигналів представлена на рисунку 2.9.

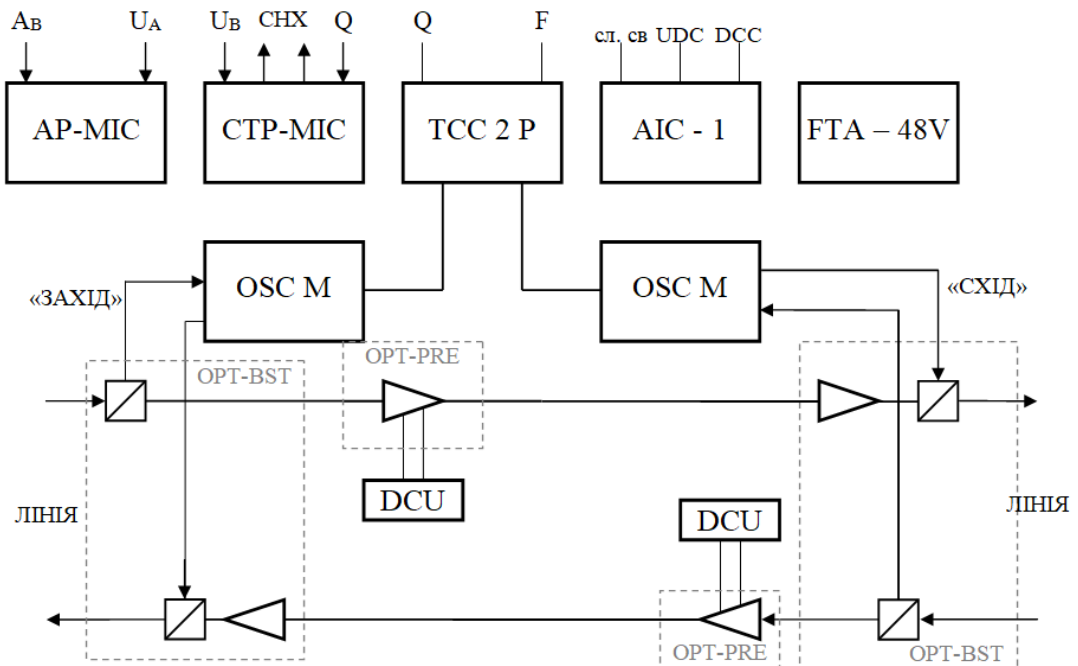


Рисунок 2.9 Структурна схема вузла підсилення оптичних сигналів

Перетворення сигналів відбувається наступним чином: лінійний сигнал «OTM-n,m = OSC+OCG-n,m» надходить зі сторони «ЗАХІД», на демультимплексор каналу контролю та управління. На ньому виконується розділення агрегатного сигналу на багатохвильовий сигнал OCG-n,m (1530 нм...1560 нм) та сигнал контролю управління OSC (1510 нм).

Багатохвильовий сигнал відновлюється по амплітуді в оптичних підсилювачах: попередньому OPT-PRE і вихідному OPT-BST.

Якщо необхідно, то за допомогою блоків DCU здійснюється компенсація хроматичної дисперсії в волоконно-оптичній лінії. Таким чином, в лінійному тракті кожного з напрямків виконується регенерація багатохвильового оптичного сигналу типу 1R.

Сигнал каналу контролю і управління OSC в форматі STM-1 подається на вхідний інтерфейс модуля OSCM і після обробки в вигляді сигналів заголовка оптичного транспортного модуля OOS надходить на плату системи контролю, сигналізації та зв'язку TCC2P.

У платі TCC2P сигнали заголовка OTM-n,m сторони «ЗАХІД» аналізуються і використовуються, а також формуються нові сигнали заголовка OOS, які надходять на модуль OSCM сторони «СХІД». У модулі OSCM сторони «СХІД» сигнали заголовка OOS вводяться в канал контролю і управління.

З вихідного інтерфейсу STM-1 модуля OSCM сторони «СХІД» сигнал OSC надходить на мультимплексор каналу контролю і управління. Тут він об'єднується з відновленим багатохвильовим сигналом OCG-n,m.

В результаті формується агрегатний сигнал у форматі OTM-n, m = OSC + OCG-r,m, який передається на наступну ділянку лінійного тракту. Аналогічні перетворення сигналу OTM-n, m здійснюються і в зворотному напрямку.

Вузол термінації оптичних каналів окрім функцій вузла підсилення виконує функцію термінації оптичних каналів DWDM. Структурна схема вузла термінації оптичних каналів DWDM представлена на рисунку 2.10.

На прийомі лінійний сигнал OTM-n, m надходить на демультиплексор каналу контролю і управління, де виконується поділ агрегатного сигналу на багатохвильовий сигнал OCG-n, m (1530...1560 нм) і сигнал каналу контролю і управління OSC (1510 нм).

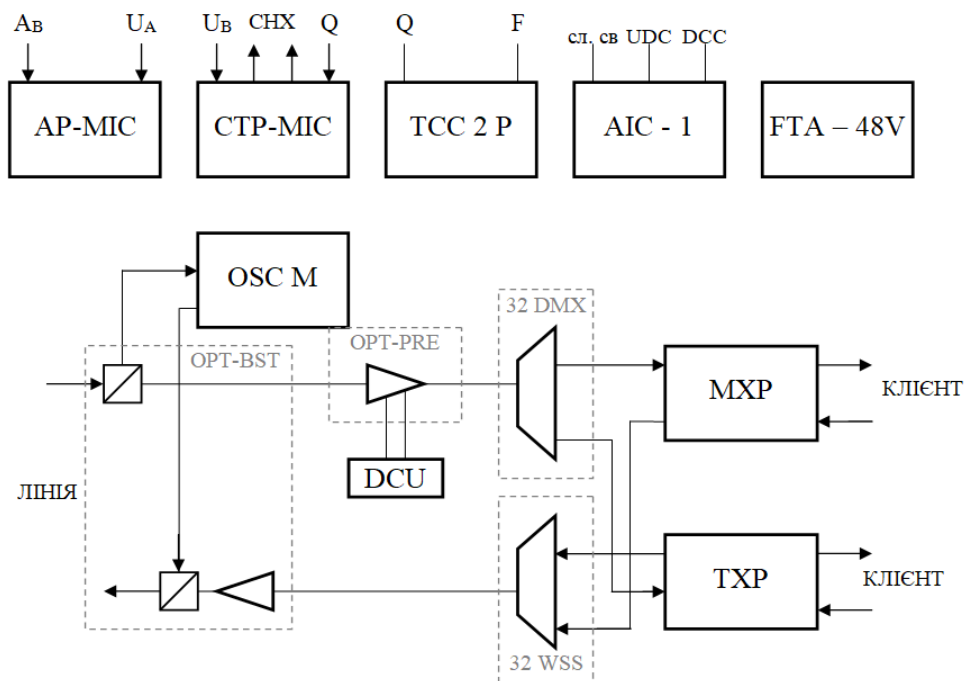


Рисунок 2.10 - Структурна схема термінації оптичних каналів DWDM

Багатохвильовий сигнал С-діапазону відновлюється за амплітудою в попередньому підсилювачі OPT-PRF і подається на вхід плати оптичного демультиплексора 32-DMX, де розділяється на каналні сигнали (термінуються). Сигнали окремих оптичних каналів надходять на транспондери виведення, де перетворюються в клієнтські сигнали.

Сигнал каналу контролю і управління OSC в форматі STM-1 подається на вхідний інтерфейс модуля OSCM і після обробки в вигляді сигналів заголовків оптичного транспортного модуля OOS надходить на плату TCC2P.

На передачі клієнтські сигнали в транспондерах введення перетворюються в сигнали оптичних каналів DWDM, які надходять на плату селективного перемикача довжин хвиль 32WSS. [20, 24]

Плата 32WSS забезпечує вибір і мультиплексування місцевих оптичних каналів. В результаті формується багатохвильовий оптичний сигнал OCG-n, m, який підсилюється в вихідному оптичному підсилювачі OPT-BST і подається на мультиплексор каналу контролю і управління.

Сигнали заголовків OOS з плати TCC2P подаються на модуль OSCM і після обробки з вихідного інтерфейсу STM-1 у вигляді сигналу OSC надходять на мультиплексор каналу контролю і управління модуля OSCM.

Тут вони об'єднуються з багатохвильовим оптичним сигналом. В результаті формується агрегатний сигнал OTM-n, m = OSC + OCG-n, m, який передається в лінійний тракт. [23]

Вузол вводу/виводу оптичних каналів виконує наступні основні функції:

- Підсилення багатохвильових оптичних сигналів;
- Компенсація хроматичної дисперсії;
- Введення / виведення оптичних каналів dwdm;
- Забезпечення контролю і управління обладнанням мережевого вузла.

Структурна схема вузла введення/виведення оптичних каналів представлена на рисунку 2.11.

Перетворення сигналів відбувається аналогічно попереднім вузлам, але після відновлення за амплітудою в попередньому підсилювачі OPT-PRE багатохвильовий сигнал С-діапазону через розгалужувач плати 32-WSS подається на вхід плати оптичного демультимплексора 32-DMX. В оптичному демультимплексорі частина оптичних каналів виділяється, а інші канали проходять транзитом до плати 32-WSS сторони «СХІД».

Плата 32-WSS сторони «СХІД» забезпечує введення місцевих оптичних каналів і об'єднання їх з транзитними каналами сторони «ЗАХІД».

В результаті формується багатохвильовий сигнал $OCG-n,m$, який підсилюється в вихідному оптичному підсилювачі OPT-BST і подається на мультиплексор каналу контролю і управління сторони «СХІД». [23]

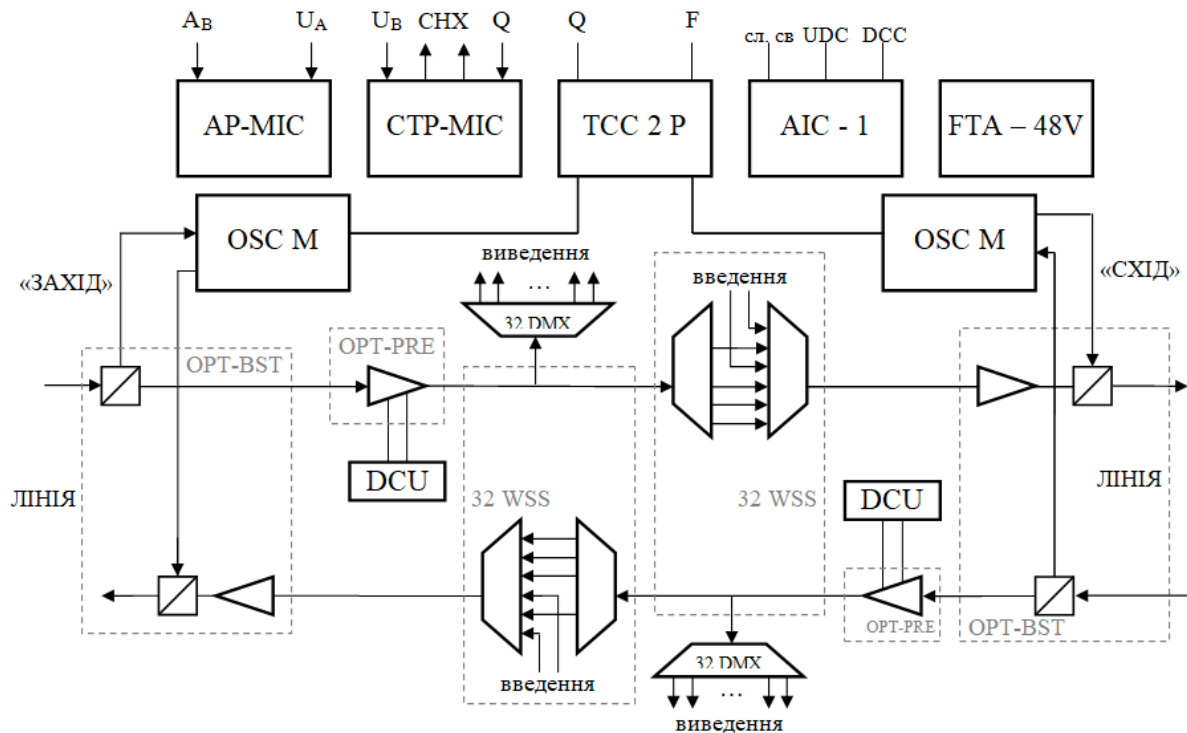


Рисунок 2.11 - Структурна схема вузла введення/виведення оптичних каналів

Сигнал каналу контролю і управління OSC обробляється і додається до багатохвильового сигналу $OCG-n, m$ таким же чином, як і в попередніх розглянутих вузлах. В результаті формується агрегатний сигнал $OTM-n, m = OSC + OCG-n, m$, який передається на наступну ділянку лінійного тракту. Аналогічні перетворення сигналу $OTM-n, m$ здійснюються і в зворотному напрямку. [20, 24]

Вузол крос-комутації оптичних каналів виконує наступні основні функції:

- підсилення багатохвильових оптичних сигналів;
- компенсація хроматичної дисперсії;
- крос-комутація оптичних каналів:

TX-D. Аналогічним чином здійснюється перетворення багатохвильових сигналів напрямків «В», «С» і «D». [23]

В результаті в кожен вихідний порт патч-панелі EXP TX даного напрямку надходять багатохвильові сигнали всіх інших напрямків.

Порти EXP TX за допомогою багатоволоконних оптичних кабелів з'єднуються з портами прийому EXP RX плат 40-WXC-C відповідного напрямку.

У платах 40-WXC-C багатохвильові сигнали, що надходять до портів EXP RX і ADD RX, демультимплексуються; здійснюється програмний вибір необхідних комбінацій оптичних каналів, їх мультимплексування і передача до загальних портів COM TX. [20, 24]

Багатохвильові сигнали кожного з напрямків підсилюються в вихідних оптичних підсилювачах OPT-BST і подаються на мультимплексори, де об'єднуються з сигналами каналу контролю і управління OSC. В результаті формуються агрегатні сигнали OTM-n, m, які передаються в лінію.

З розглянутих процесів перетворення оптичних сигналів можна зробити висновок про те, що плати 40-WXC-C спільно з патч-панеллю PP-MESH забезпечують створення крос-з'єднань оптичних каналів між лінійними портами будь-яких напрямків, що сходяться у вузлі.

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи були визначені призначення, склад та основні функції мультисервісних транспортних платформ, які є основним типом обладнання, що використовується в оптичній транспортній мережі. Завдяки модульному принципу побудови мультисервісних транспортних платформ дозволяють створювати гнучкі масштабовані рішення з конфігурації різних типів вузлів транспортної мережі.

Було наведено структурні схеми та проаналізовано функціонування різних типів вузлів оптичної транспортної мережі, а також принципи роботи

оптичних компонентів мультисервісних транспортних платформ на базі серії ONS 15454 фірми Cisco.

Зазначено, що особливості обробки сигналів компонентами мультисервісних транспортних платформ в різних типах вузлів дозволяють використовувати невеликий ряд плат і модулів, зменшуючи при цьому кількість запасних плат і блоків.

3 ВУЗОЛ ROADM НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ ФІРМИ CISCO

3.1 Технології ROADM

Технології ROADM прийшли за зміну OADM, які часто називали FOADM (Fixed OADM). Вони історично першими з'явилися на ринку оптичних мереж зв'язку (друга половина 90-х років 20 століття) і дозволили спростити схеми доступу до окремих оптичних каналів. Проте у порівнянні з OADM мультиплексори ROADM в три рази компактніше, в чотири рази дешевше і вносять в три рази менше втрат оптичної потужності, тому на практиці вони застосовуються частіше.

З розвитком ROADM з'являлись різні структури його побудови. ROADM на основі хвильових блокаторів WB виконує наступні дії: на вході з багатоканального оптичного сигналу виділяються необхідні оптичні канали, далі сигнал проходить через хвильовий блокатор WB, де виділені довжини хвиль ізолюються для подальшого проходження або оптичним ключем, або керованим оптичним атенюатором VOA. На виході в загальний груповий оптичний сигнал додаються введені оптичні канали на довжинах хвиль, заблокованих WB. [25]

Особливості реалізації:

- Кількість портів вводу/виводу дорівнює кількості хвиль;
- Фіксація хвилі за портом;
- Блокатори: комірки комутації 1x2 чи керовані оптичні атенюатори.

До недоліків такої системи можна віднести: великі розміри, високу ціну, закріплені за портом довжини хвиль, неможливість збільшення порядку вузла.

ROADM на основі комутаційних комірок та матриць MEMS, PLC дозволяють в більшій мірі реалізувати функції гнучкості мережевих елементів. Діаметр дзеркал, з яких формується масив MEMS, часто не перевищує товщину людської волосини (близько 800мкм). Вони монтуються

на спеціальних осях, що дозволяють їм відхилятися в тривимірному просторі. На одній підложці розміром не більше кількох квадратних сантиметрів може бути розміщено кілька сотень таких дзеркал, тому вартість одного елемента комутаційної фабрики відносно низька.[25]

До другого покоління ROADM відносяться мультиплексори на основі технології PLC. ROADM на основі планарних хвильових каналів PLC в своєму складі має інтегровані мультиплексор і демультимплексор з ґратками AWG, оптичний перемикач 1×2 або 2×2 , керовані оптичні атенюатори (VOA) і також розгалужувачі.

До переваг відносяться: низька ціна, малі розміри, просте програмне забезпечення та технічне виконання.

До недоліків відносяться: закріплені за портом довжини хвиль, неможливість масштабування вузла.

Сьогодні все ширше застосовуються ROADM, третє покоління яких засноване на багатопортових частотно-селективних перемикачах (WSS), які відносяться до широкосмугових селективних елементів, але можуть виконувати і функції вузькосмугових селективних елементів в окремому каналі.

Перемикачі WSS в ROADM можуть виконуватися на основі мікродзеркал (MEMS), рідких кристалів LCD і LCoS, керованих розгалужувачів 1×2 PLC, наприклад, з керованими інтерферометрами або з термічної комутацією. При цьому останні відрізняються великими втратами оптичної потужності (в комутаторі 1×9 втрати 5,4дБ при споживаній потужності 450мВт на комутацію в одному елементі і загальним споживанням на блок до 14Вт). [25]

Конфігурація на основі WSS дозволяє досить швидко реагувати на мінливі мережеві вимоги, тобто вибудовувати маршрут оптичного каналу. Частотні перемикачі (комутатори) направляють конкретні частоти з вхідного DWDM-сигналу на певні вихідні порти. Потужність кожної хвилі окремо контролюється фільтрами з динамічним вирівнюванням рівня сигналу VOA

або посилення сигналу DGE. Мультиплексори ROADM, засновані на WSS і PLC, забезпечують повністю автоматизований процес управління на оптичному рівні, тобто можливість управління кожною довжиною хвилі і групою хвиль, що знижує експлуатаційні та капітальні витрати.

Мультиплексор ROADM на базі WSS одночасно виконує чотири функції, які раніше вимагали застосування чотирьох окремих елементів:

- демультимплексування;
- вирівнювання рівнів потужності;
- комутацію;
- мультиплексування.

Також здійснюються такі функції як:

- гнучкий процес введення-виведення при використанні будь-яких «безколірових» портів - colorless;
- динамічний контроль вхідної потужності;
- динамічне вирівнювання потужності;
- безперервний оптичний моніторинг всіх каналів;
- групування оптичних каналів.

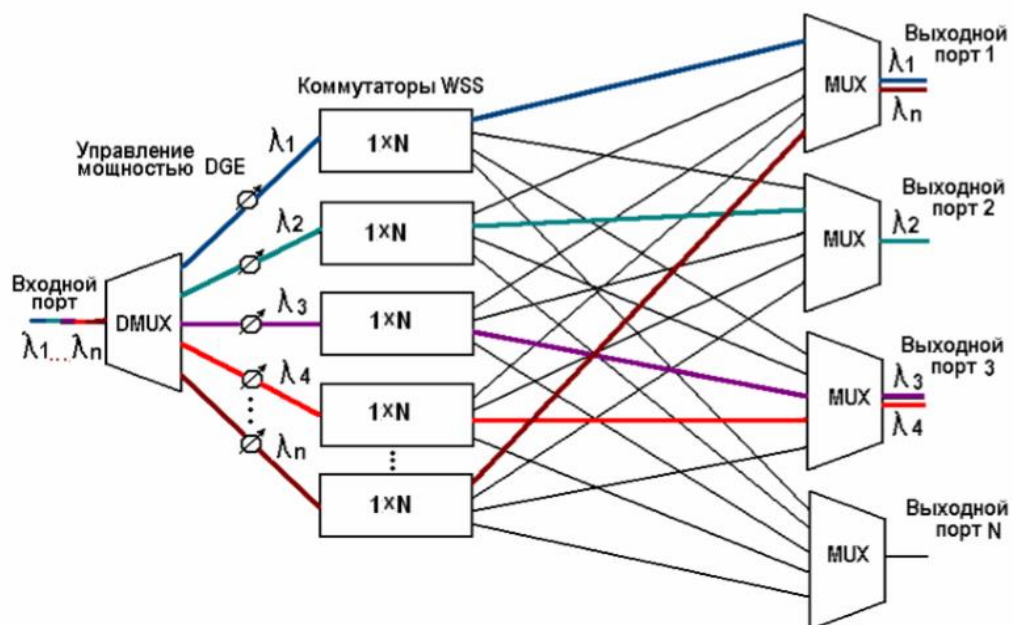


Рисунок 3.1 - Структура ROADM – WSS [26]

Такими пристроями забезпечується підтримка сітки частот 50 і 100 ТГц в смугах 191,6 - 196,3 ТГц (оптична C - смуга) і 186,9 - 191,3 ТГц (оптична L - смуга) з числом каналів від 45 до 90.

На відміну від раніше розглянутих вище ROADM (WB, PLC, MEMS і FOADM) в WSS номер порту не пов'язаний з довжиною хвилі оптичного каналу, який підключається до нього, його називають безбарвний (colorless). Завдяки «безбарвності» можна сконструювати гнучкий фотонний вузол введення/виведення і кросової комутації з можливістю реконфігурації програмним шляхом та з коефіцієнтом зв'язності більше двох портів. На базі такого вузла може бути створений мультиплексор з функціями захисних реконфігурацій оптичних каналів і оптичний кросовий комутатор з доступом до будь-якого оптичного каналу і можливістю побудови мережі будь-якої топології: лінійної, кільцевої, коміркової, змішаної. Подібні технічні рішення вже добре відомі, наприклад, комутатори ROADM Cisco Рисунок – 3.2.



Рисунок 3.2 - Конструктивне виконання блоків ROADM - WSS Cisco 15454

3.2 Склад вузла ROADM та виконання основних компонентів

До складу ROADM крім комутуючих вузлів в окремому або інтегрованому виконаннях входять такі пристрої, як оптичні мультиплексори і демультиплексори (OMX/ODMX), керовані оптичні атенюатори (VOA), пристрої моніторингу оптичних каналів (OPM) і транспондерні пристрої (TPD). Далі наводяться конструкції часто використовуваних пристроїв OMX/ODMX, VOA, OPM, TPD.

Для побудови схем оптичних мультиплексорів і демультиплексорів OMX/ODMX застосовують хвильові решітки AWG, які виконуються на єдиній підложці і мають необхідні характеристики для поділу та об'єднання оптичних каналів на різних довжинах хвиль. Частотний інтервал між хвилями зазвичай становить 25ГГц, 50ГГц або 100ГГц. Ізоляція оптичних каналів один від одного більше 25 дБ. [25] Просторове розділення хвиль з хвильовим інтервалом досягається вибором радіусу розташування хвилеводних доріжок, їх кількістю, показником заломлення в доріжках і в вільному просторі, розходженням довжин доріжок, шириною доріжки.

Керовані оптичні атенюатори VOA використовуються для зміни потужності оптичного сигналу в оптичному каналі ROADM. VOA виконуються різні по конструкціях і можливостям інтегрування в єдині блоки. У всіх конструкціях використовується кероване зміщення поверхонь, що відбивають. Зсув може відбуватися при електричному, магнітному або тепловому впливах. Крім того, можливе використання керованих мікродзеркал з поворотом по осі кріплення або зі зміщенням в область випромінювання для його часткового або повного перекриття. [25]

Транспондерні пристрої TPD не є обов'язковою приналежністю ROADM. Вони встановлюються в апаратурі, де формується клієнтський трафік для передачі транспортною мережею. Однак при виконанні оптичних мультисервісних транспортних платформ передбачається розміщення транспондерів в одному шасі з ROADM. При цьому вони повинні бути

узгоджені між собою і підключеними до єдиної системи управління. Прикладом такої реалізації є OMSTP 15454 Cisco. Транспондери можуть підтримувати будь-яку технологію цифрової передачі (SDH, OTH, EoT) і виконувати функції групування. Функції транспондерів поділяються на основні та опційні, тобто виконувані під специфічні умови. [26]

Основні функції транспондерів полягають у наступному:

- перетворення електричних сигналів в оптичні на передачу;
- перетворення оптичних сигналів в електричні на прийомі;
- виконання функцій регенерації 3R (відновлення амплітуди, форми імпульсів і часових співвідношень);
- контроль і виправлення помилок передачі за рахунок реалізації алгоритму попередньої корекції помилок FEC, що підвищує енергетичний потенціал на 3-12дБ в залежності від кодування;
- перебудова лазера передавача на будь-яку з частот стандартних діапазонів C і L;
- взаємодія з системою управління обладнанням і мережею.

До додаткових функцій транспондерів відносяться:

- реалізація захисних перемикань в кільцевої або лінійної мережі;
- взаємодія з оптичним підсилювачем і підсилювачем потужності для збільшення дальності передачі;
- робота в умовах мінливої температури навколишнього середовища;
- формат виконання (в корпусі або без корпусу);
- вибір формату зовнішньої модуляції оптичної несучої при певному кодуванні оптичного сигналу і відповідного прийому сигналу з декодуванням (DPSK, DQPSK, CSRZ, RZ-DQPSK);
- функції групування.

Пристрої моніторингу оптичних каналів OPM є збіркою зі спрямованими відгалужувачами з коефіцієнтом 5% або 10%, цей відсоток

потужності відводиться на фотодетектор і електричний підсилювач сигналу. Вихід кола фотодетектора або підсилювача використовується в автоматизованій системі контролю потужності. При цьому рівень електричного сигналу, що відповідає рівню потужності оптичного випромінювання порівнюється у компараторі із заздалегідь визначеним еталоном.

3.3. Варіанти побудови вузлів ROADM

Фірма Cisco пропонує велику кількість варіантів побудови вузлів ROADM. Вузол ROADM повинен бути обладнаний двома платами, деякі з яких були розглянуті вище (п.2.2) і однією з наступних комбінацій:

- Дві карти 32WSS і дві карти 32DMX або 32DMX-O
- Дві карти 40-WSS-C або 40-WSS-CE, дві карти 40-DMX-C або 40-DMX-CE
- Дві карти 40-SMR1-C і дві карти 15216-MD-40-ODD, 15216-EF-40-ODD або 15216-MD-48-ODD (40 або 48-канальний mux/demux) патч-панелі
- дві карти 40-SMR1-C, два лінійні підсилювачі (OPT-BST, OPT-BST-E, OPT-AMP-C або карти OPT-AMP-17C), дві карти OPT-RAMP-C або OPT-RAMP-CE і дві карти 15216-MD-40-ODD, 15216-EF-40-ODD або 15216-MD-48-ODD патч-панелі
- дві карти 40-SMR2-C і дві 15216-MD-40-ODD, 15216-EF-40-ODD або патч-панелі 15216-MD-48-ODD
- дві карти 80-WXC-C і дві 15216-MD-40-ODD, 15216-EF-40-ODD, 15216-MD-48-ODD, патч-панелі 15216-MD-40-EVEN, 15216-EF-40-EVEN або 15216-MD-48-EVEN [23]

Розглянемо побудову та схему проходження оптичного сигналу на декількох видах вузлів, що пропонує компанія Cisco.

На рисунку 3.3 представлена побудова 80-канального безкольорового двонапрямого вузла ROADM.

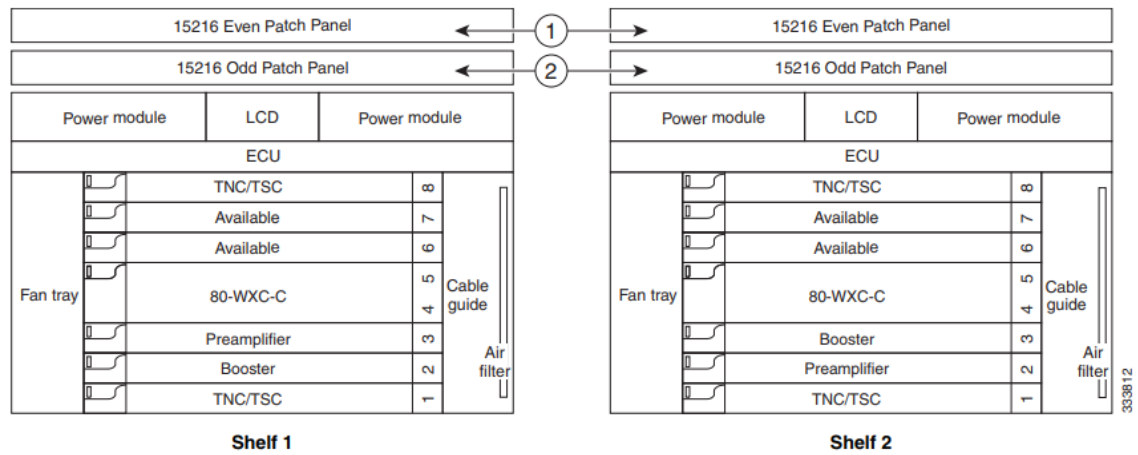


Рисунок 3.3 - ONS 15454 M6 80-канальний безкольоровий двонапрямний вузол ROADM

На рисунку 3.4 представлений 80-канальний безкольоровий двонапрямний вузол ROADM (80-Channel Colorless Two-degree ROADM Node). Розглянемо приклад потоку оптичного сигналу, що проходить через вузол зі сторони А на сторону В з використанням карт 80-WXC-C. Потік оптичного сигналу від сторони В до сторони А слідує тим же шляхом.

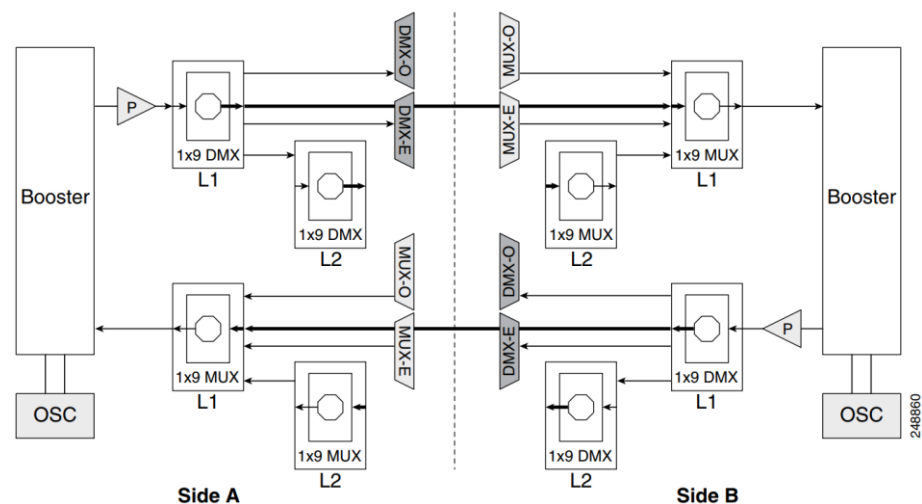


Рисунок 3.4 – Приклад проходження оптичних сигналів по 80-канальному безкольоровому двонапрямому вузлу ROADM [23]

Проходження оптичного сигналу через вузол ROADM даної побудови відбувається наступним чином:

1. Підсилювач на стороні А отримує композитний оптичний сигнал. Він відокремлює оптичний сервісний канал від оптичного корисного навантаження і відправляє корисне навантаження до попереднього підсилювача на стороні А.

2. Попередній підсилювач компенсує хроматичну дисперсію, підсилює оптичне навантаження і відправляє його на карту L1 80-WXC-C (демультиплексор).

3. На платі L1 80-WXC-C є до восьми безбарвних портів, якщо кольорова довжина хвилі не обмежена. На рисунку два порти EAD підключені до карт 40-DMX-C або 40-DMX-CE (можуть бути замінені на інші види карт, які запропоновані Cisco) в них відділяються непарні і парні довжини хвиль.

4. Далі ці хвилі відправляються на карту L1 80-WXC-C (мультиплексор) на стороні В, де вони мультиплексуються з іншими кольоровими або безбарвними довжинами хвиль.

5. Карта L1-80-WXC-C на стороні В відправляє композитний сигнал на підсилювач на стороні В.

6. Підсилювач на стороні В приймає складений оптичний сигнал, додає оптичний службовий канал до оптичного корисного навантаження і відправляє його на лінію передачі.

Приклад компоновки узла ROADM з встановленими картами 40-WSS-
С показаний на рисунку 3.5.

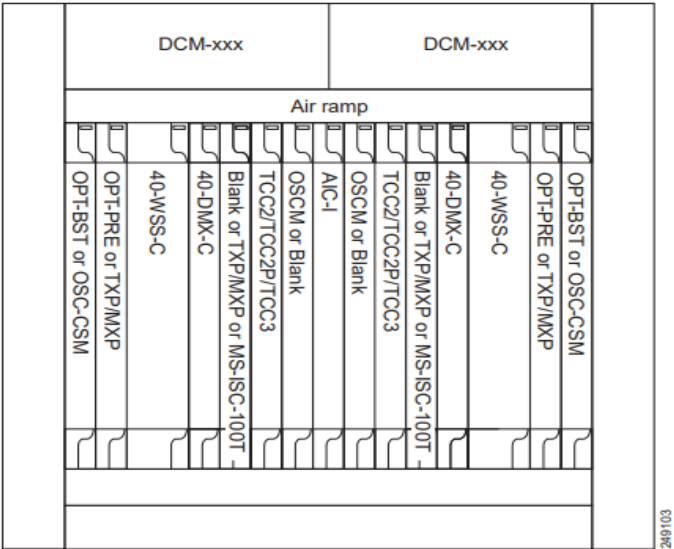


Рисунок 3.5 Компоновка узла ROADM з встановленими картами 40-WSS-C[23]

Приклад компоновки узла ROADM з встановленими картами 40-SMR1-C на базі шасі Cisco ONS 15454 та Cisco ONS 15454 M6 показаний на рисунку 3.6.

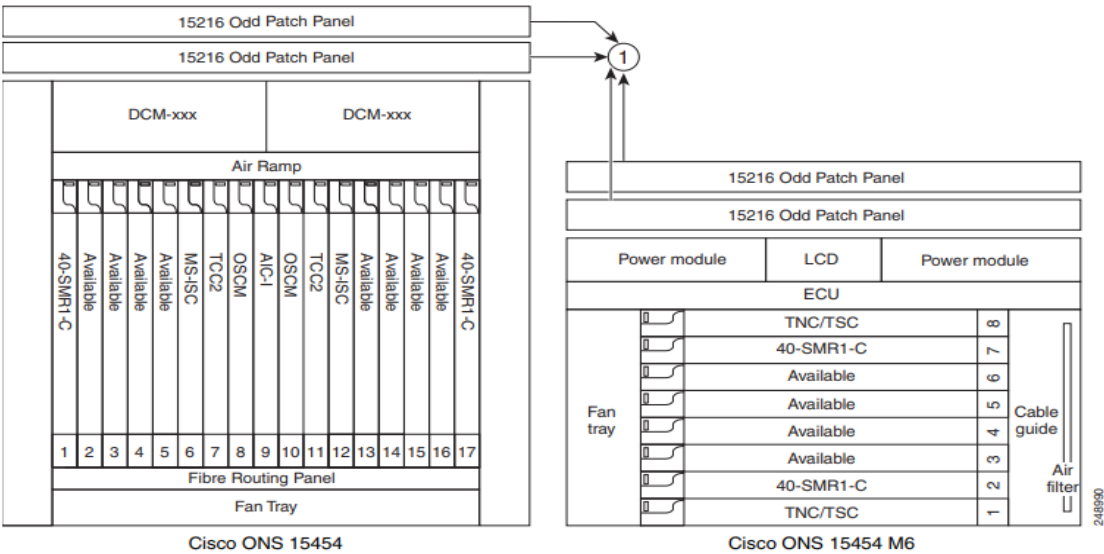


Рисунок 3.6 – Компоновка узла ROADM з встановленими картами 40-SMR1-C - Cisco ONS 15454 та Cisco ONS 15454 M6 [23]

На рисунку 3.7 показаний приклад передачі оптичного сигналу ROADM зі сторони А на сторону В з використанням карти 40-SMR1-C. Потік оптичного сигналу від сторони В до сторони А слідує ідентичним шляхом через підсилювач боку В і карту 40-SMR1-C.

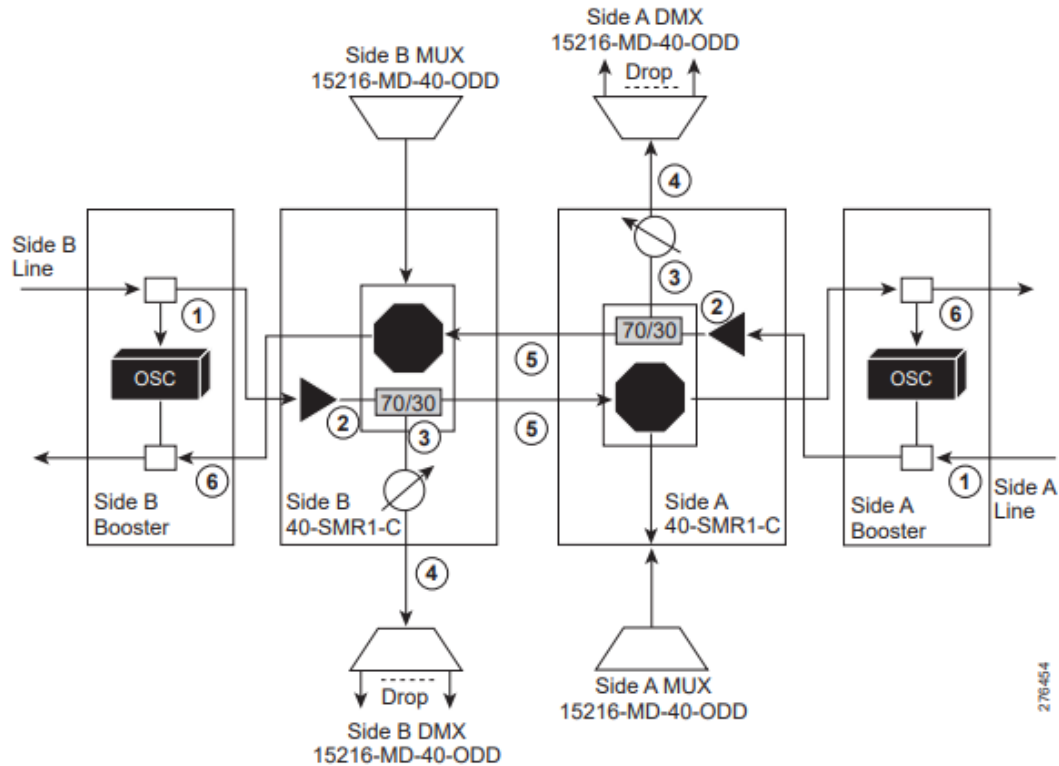


Рисунок 3.7 – Приклад проходження потоку оптичних сигналів ROADM з використанням карти 40-SMR1-C [23]

Проходження оптичного сигналу через вузол ROADM даної побудови (рис.3.8) відбувається наступним чином:

1. Підсилювач отримує оптичний сигнал. Він відокремлює оптичний сервісний канал від оптичного корисного навантаження і відправляє корисне навантаження на модуль попереднього підсилювача в карті 40-SMR1-C.

2. Модуль попереднього підсилювача компенсує хроматичну дисперсію, підсилює сигнал оптичного корисного навантаження і відправляє його на розгалужувач 70/30 в карті 40-SMR1-C.

3. Розгалужувач 70/30 розділяє сигнал на дві складові. 70-відсотковий компонент відправляється на порт DROP-TX, а 30-відсотковий компонент відправляється на порт EXP-TX.

4. Компонент, що виводиться в цьому вузлі мережі, надходить в блок 15216-MD-40-ODD, 15216-EF-40-ODD або 15216-MD-48-ODD, де він демультимплексується і відкидається.

5. Експрес-сигнал надходить на карту 40-SMR1-C з іншого боку, де він демультимплексується. Канали блокуються або пересилаються в залежності від їх стану перемикачів. Передані довжини хвиль об'єднуються з довжинами хвиль, які надходять зі шляху ADD, і відправляються в модуль підсилення.

6. Підсилювач об'єднує мультимплексоване корисне навантаження з OSC, підсилює його і відправляє сигнал в лінію передачі.

3.4. Управління обладнанням вузла ROADM

Для налаштування вузла компанія Cisco пропонує використовувати «розділений ROADM» [27], також до такої конфігурації можна перевести вже застарілий вузол.

Функція розділення дозволяє конфігурації вузла ROADM мати окремі мережеві елементи для кожної сторони лінії, що призводить до повного поділу різних ступенів ROADM.

Функція розбиття вузла ROADM дозволяє розділити багатоступеневий вузол ROADM на кілька вузлів з кількома полицями. Ця функція дозволяє вузлу ROADM мати окремі мережеві елементи для кожної з ліній сторін, що призводить до повного поділу різних ступенів ROADM. Це допомагає уникнути втрати керованості мережевих елементів у разі відмови.

Ця функція забезпечує такі переваги:

— Стійкість до відмови одностороннього або вузлового контролера;

- Можливість оновлення програмного забезпечення вузла одного ступеня, тим самим дозволяючи покращити планове обслуговування;
- Оновлення можна здійснити на вузлах з низьким пріоритетом (з меншим трафіком) спочатку, щоб забезпечити успішне оновлення, перш ніж намагатися оновити вузли з високим пріоритетом.

На рисунку 3.8 представлена схема конфігурації розділеного вузла ROADM.

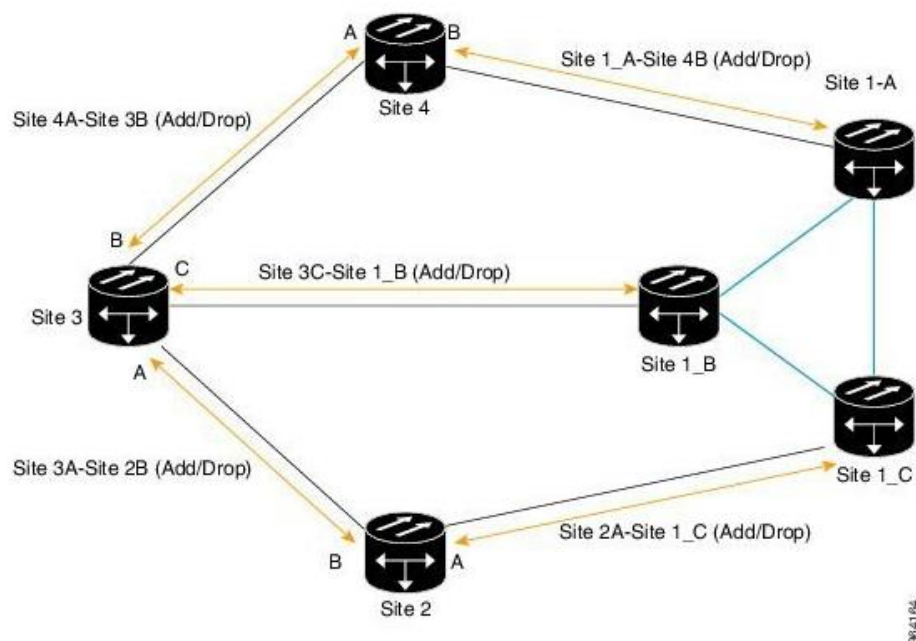


Рисунок 3.8 - Конфігурація розділеного ROADM [27]

У 4-ступінньому вузлі ROADM чотири сторони розділені на чотири мережеві елементи, а у 8-ступінньому ROADM-вузлі вісім сторін розділено на вісім мережевих елементів. Для управління цими вузлами використовуються віртуальні пасивні пристрої.

Віртуальні пасивні пристрої підключаються за допомогою віртуальних КПП, які можна налаштувати в СТС. Можлива міграція застарілих ROADM-конфігурацій для розділення конфігурації ROADM.

Функція розділеного вузла ROADM підтримується у таких програмних пакетах:

- Пакет з фіксованою сіткою NCS;
- Повний пакет Cisco ONS 15454 DWDM.

Функція розділеного вузла ROADM підтримує такі конфігурації:

- Двоступеневий вузол ROADM 40 або 80 каналів з прямим взаємозв'язком між картами 80-WXC-C;
- 40-канальний двоступеневий вузол ROADM з прямим взаємозв'язком між картами 40-SMR1-C;

Направлена кольорова A/D багатоступенева конфігурація ROADM з PP-MESH-4 або PP-MESH-8 сітчастими лотками для патчів та картами 80-WXC-C.

Алгоритм для розділення конфігурації ROADM наведений в додатку В.

3.5 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розглянуто варіанти конструктивного виконання ROADM. Зазначено, що мультиплексори ROADM, засновані на WSS і PLC, забезпечують повністю автоматизований процес управління на оптичному рівні, тобто можливість управління кожною довжиною хвилі і групою хвиль, що знижує експлуатаційні та капітальні витрати. На базі такого вузла може бути створений мультиплексор з функціями захисних реконфігурацій оптичних каналів і оптичний кросовий комутатор з доступом до будь-якого оптичного каналу і можливістю побудови мережі будь-якої топології: лінійної, кільцевої, коміркової, змішаної.

Наведені варіанти компоновки вузлів ROADM на базі різних типів плат платформи ONS15454 фірми Cisco. Найбільш вдалим варіантом побудови є компоновка вузлів ROADM на базі плат 40-SMR1-C та 40-SMR2-C, в яких на одній платі зосереджено декілька компонентів, а саме: оптичні підсилювачі і сам ROADM. Це дозволяє ефективно використовувати установчі позиції в шасі, підвищивши щільність обладнання, та спростити процес технічного обслуговування.

Також розглянуто налаштування та управління обладнанням вузла ROADM. Визначено, що функція розділеного вузла ROADM дозволяє отримати такі переваги, як стійкість до відмови одностороннього або вузлового контролера; можливість оновлення програмного забезпечення вузла одного ступеня, тим самим дозволяючи покращити планове обслуговування.

ВИСНОВКИ

Тема побудови швидкого та надійного вузла ROADM є актуальною на даний момент та буде актуальна ще довгі роки. Так як оптичні мережі розвиваються зі стрімкою швидкістю, надаючи можливості підтримувати все більше сучасних додатків та технічних рішень.

При використанні 5G неприпустимі довгі затримки в мережі, так як технології та додатки які будуть використовувати таку мережу сильно залежать від швидкості передачі даних. Тому необхідно транспортувати канали WDM з малою затримкою, вкрай бажано максимально використовувати оптичне перемикання довжини хвилі для досягнення прямого проходу довжини хвилі на оптичному рівні (L0) через різні вузли 5G-орієнтованих оптичних мереж. Масивні оптичні перехресні з'єднання необхідні для забезпечення повної можливості перемикання для всіх каналів WDM у всіх волокнах, підключених до оптичного вузла. Цим вимогам повинні відповідати сучасні вузли ROADM.

В першому розділі були розглянуті особливості технології синхронної цифрової ієрархії (SDH, NGSDH) та оптичної транспортної мережі (OTN), транспортні мережі на основі технологій Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, технології оптичного мультиплексування за довжиною хвилі xWDM.

Зазначено, що технологія OTN на відміну від інших має суттєві переваги, що призводить до її застосування як на магістральних мережах, так і на міських, обласних, а також на мережах мобільних операторів.

OTN забезпечує ефективне використання пропускної здатності оптичного волокна, надійність за рахунок резервування на мережевому та апаратному рівнях, гнучкість і масштабованість оптичної інфраструктури, дистанційне управління мережею та її моніторинг, що в результаті дає змогу користувачам отримувати високу якість послуг.

У другому розділі дипломної роботи були визначені призначення, склад та основні функції мультисервісних транспортних платформ, які є

основним типом обладнання, що використовується в оптичній транспортній мережі. Завдяки модульному принципу побудови мультисервісні транспортні платформи дозволяють створювати гнучкі масштабовані рішення з конфігурації різних типів вузлів транспортної мережі.

Було наведено структурні схеми та проаналізовано функціонування різних типів вузлів оптичної транспортної мережі, а також принципи роботи оптичних компонентів мультисервісних транспортних платформ на базі серії ONS 15454 фірми Cisco.

Зазначено, що особливості обробки сигналів компонентами мультисервісних транспортних платформ в різних типах вузлів дозволяють використовувати невеликий ряд плат і модулів, зменшуючи при цьому кількість запасних плат і блоків.

У третьому розділі було розглянуто варіанти конструктивного виконання ROADM. Зазначено, що мультиплексори ROADM, засновані на WSS і PLC, забезпечують повністю автоматизований процес управління на оптичному рівні, тобто можливість управління кожною довжиною хвилі і групою хвиль, що знижує експлуатаційні та капітальні витрати. На базі такого вузла може бути створений мультиплексор з функціями захисних реконфігурацій оптичних каналів і оптичний кросовий комутатор з доступом до будь-якого оптичного каналу і можливістю побудови мережі будь-якої топології: лінійної, кільцевої, коміркової, змішаної.

Наведені варіанти компоновки вузлів ROADM на базі різних типів плат платформи ONS15454 фірми Cisco. Найбільш вдалим варіантами побудови є компоновки вузлів ROADM на базі плат 40-SMR1-C та 40-SMR2-C, в яких на одній платі зосереджено декілька компонентів, а саме: оптичні підсилювачі і сам ROADM. Це дозволяє ефективно використовувати установчі позиції в шасі, підвищивши щільність обладнання, та спростити процес технічного обслуговування.

Також розглянуто налаштування та управління обладнанням вузла ROADM. Визначено, що функція розділеного вузла ROADM дозволяє

отримати такі переваги, як стійкість до відмови одностороннього або вузлового контролера; можливість оновлення програмного забезпечення вузла одного ступеня, тим самим дозволяючи покращити планове обслуговування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Річний Інтернет-звіт від компанії Cisco [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
2. Григоренко О. Г., Кочева Н. С. Особливості оптичних мереж для забезпечення вимог технології 5G //Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ». – 2020.
3. Littlewood P., Follis E. Optical Transport Networking //Ciena Corporation. – 2016.\
4. Слепов Н. Н. Современная технология цифровых оптоволоконных систем связи //Москва: Радио и связь. – 2003.
5. Слепов Н. Сети SDH новой генерации и их использование для передачи трафика Ethernet //Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2005. – №. 4. – С. 60-63.
6. Носков В. И. Сети SDH следующего поколения (NG SDH).
7. Зингеренко Ю. А. Оптические цифровые телекоммуникационные системы и сети синхронной цифровой иерархии //Учебное пособие.–СПб: НИУ ИТМО. – 2013. – Т. 393
8. Rec I. G. 707,“ //Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH). – 2007.
9. Rec I. G. 7042 //Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) for Virtual Concatenation. – 2001.
10. Rec I. G. 7041,“ //Generic Framing Procedure (GFP),” Oct. – 2001.
11. Spurgeon C. E. Ethernet: the definitive guide. – " O'Reilly Media, Inc.", 2000.
12. Frazier H. The 802.3 z gigabit ethernet standard //Ieee network. – 1998. – Т. 12. – №. 3. – С. 6-7.
13. Слепов Н. Н. 100-гигабитный Ethernet //Технологии и средства связи.-Ч. 1. – 2011. – №. 6. – С. 28.

14. Чернова, О. "технологии xwdm-это перспективно решения ГК" Натекс". *Первая миля* 22.1 (2011): 26-31.
15. Бельков, Д. В. Концепція мультисервісних мереж. 2010.
16. Бельков, Д. В.; Незамова, Л. В. Побудова мультисервісної мережі. 2010.
17. Воробієнко, П. П.; Нікітюк, Л. А.; Резниченко, П. І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. Підручник для вищих навчальних закладів
18. Бахареvский, А. Решения и продукты компании CiscoSystems по построению оптических сетей. Могушество сетевых технологий сегодня:[Електронний ресурс]/Материалы компании Ciscosystems. CCIE.– Режим доступу: <http://www.cisco.com/go/optical>
19. Григоренко О. Г., Особливості реалізації ефективних оптичних транспортних мереж. – 2018
20. Соломенчук В.Д. Оборудование мультисервисных транспортных платформ ONS15454. Киев. ЦПО. 2009
21. ONS 15454 Cisco [Електронний ресурс]: Режим доступу - https://www.cisco.com/c/ru_ru/support/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/tsd-products-support-series-home.html
22. Cisco DWDM reference guide [Електронний ресурс]: Режим доступу - https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/15000r9_2_1/dwdm/reference/guide/454d921_referenceguide/454d921_txpmxpcard.html
23. Cisco ONS 15454 DWDM Configuration Guide, Release 9.6.x ст 1095, ст. 304
24. Соломенчук, В. Д.; Мищенко, В. А.; Гура, К. Н. Оптические транспортные сети. К.: Центр последипломного образования ПАО «Укртелеком, 2014.
25. Фокин В. Г. Оптические мультиплексоры OADM/ROADM и коммутаторы РХС в мультисервисной транспортной сети. – 2011.

26. Фокин В. Г. Когерентные оптические сети //Учебное пособие. СибГУТИ. – 2015.

27. Workflow for ROADM Split Nodes, Release 10.x.x [Электронный ресурс]:
Режим доступа -
<https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/15000r/dwdm/configuration/guide/b-ROADM-Split-Node.html>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Рисунок 1 ілюструє лицьові плати TXP_MR_10E_C та TXP_MR_10E_L.

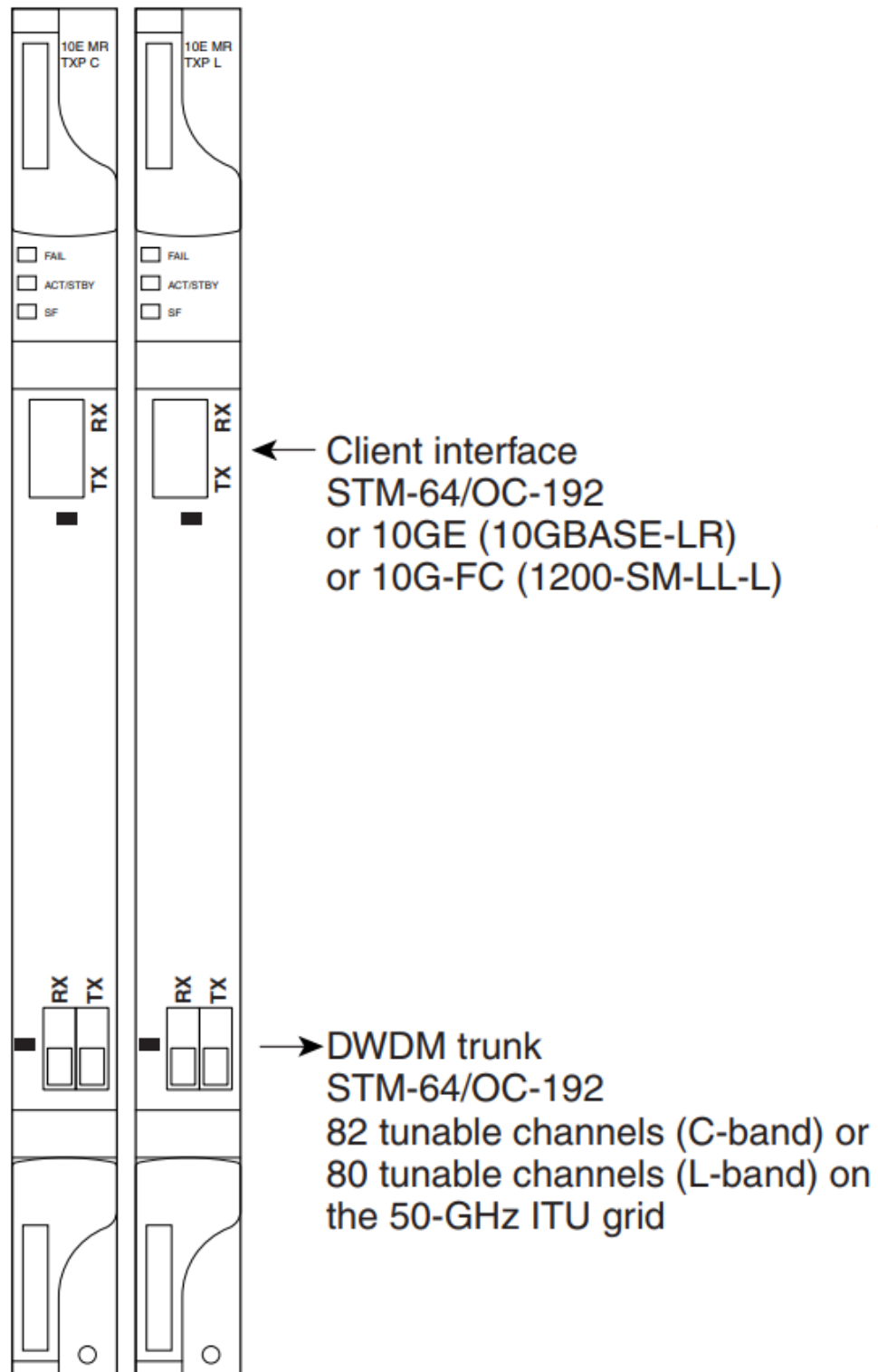


Рисунок 1 - Лицьові плати TXP_MR_10E_C та TXP_MR_10E_L [23]
Таблиця 1 – План каналного розподілу для плати TXP_MR_10E_C [23]

| Номер каналу | Частота (ГГц) | Довжина хвилі (нм) | Номер каналу | Частота (ГГц) | Довжина хвилі (нм) |
|--------------|---------------|--------------------|--------------|---------------|--------------------|
| 1 | 196.00 | 1529.55 | 42 | 193.95 | 1545.72 |
| 2 | 195.95 | 1529.94 | 43 | 193.90 | 1546.119 |
| 3 | 195.90 | 1530.334 | 44 | 193.85 | 1546.518 |
| 4 | 195.85 | 1530.725 | 45 | 193.80 | 1546.917 |
| 5 | 195.80 | 1531.116 | 46 | 193.75 | 1547.316 |
| 6 | 195.75 | 1531.507 | 47 | 193.70 | 1547.715 |
| 7 | 195.70 | 1531.898 | 48 | 193.65 | 1548.115 |
| 8 | 195.65 | 1532.290 | 49 | 193.60 | 1548.515 |
| 9 | 195.60 | 1532.681 | 50 | 193.55 | 1548.915 |
| 10 | 195.55 | 1533.073 | 51 | 193.50 | 1549.32 |
| 11 | 195.50 | 1533.47 | 52 | 193.45 | 1549.71 |
| 12 | 195.45 | 1533.86 | 53 | 193.40 | 1550.116 |
| 13 | 195.40 | 1534.250 | 54 | 193.35 | 1550.517 |
| 14 | 195.35 | 1534.643 | 55 | 193.30 | 1550.918 |
| 15 | 195.30 | 1535.036 | 56 | 193.25 | 1551.319 |
| 16 | 195.25 | 1535.429 | 57 | 193.20 | 1551.721 |
| 17 | 195.20 | 1535.822 | 58 | 193.15 | 1552.122 |
| 18 | 195.15 | 1536.216 | 59 | 193.10 | 1552.524 |
| 19 | 195.10 | 1536.609 | 60 | 193.05 | 1552.926 |
| 20 | 195.05 | 1537.003 | 61 | 193.00 | 1553.33 |
| 21 | 195.00 | 1537.40 | 62 | 192.95 | 1553.73 |
| 22 | 194.95 | 1537.79 | 63 | 192.90 | 1554.134 |
| 23 | 194.90 | 1538.186 | 64 | 192.85 | 1554.537 |
| 24 | 194.85 | 1538.581 | 65 | 192.80 | 1554.940 |
| 25 | 194.80 | 1538.976 | 66 | 192.75 | 1555.343 |
| 26 | 194.75 | 1539.371 | 67 | 192.70 | 1555.747 |
| 27 | 194.70 | 1539.766 | 68 | 192.65 | 1556.151 |
| 28 | 194.65 | 1540.162 | 69 | 192.60 | 1556.555 |
| 29 | 194.60 | 1540.557 | 70 | 192.55 | 1556.959 |
| 30 | 194.55 | 1540.953 | 71 | 192.50 | 1557.36 |
| 31 | 194.50 | 1541.35 | 72 | 192.45 | 1557.77 |
| 32 | 194.45 | 1541.75 | 73 | 192.40 | 1558.173 |
| 33 | 194.40 | 1542.142 | 74 | 192.35 | 1558.578 |
| 34 | 194.35 | 1542.539 | 75 | 192.30 | 1558.983 |
| 35 | 194.30 | 1542.936 | 76 | 192.25 | 1559.389 |
| 36 | 194.25 | 1543.333 | 77 | 192.20 | 1559.794 |
| 37 | 194.20 | 1543.730 | 78 | 192.15 | 1560.200 |
| 38 | 194.15 | 1544.128 | 79 | 192.10 | 1560.606 |
| 39 | 194.10 | 1544.526 | 80 | 192.05 | 1561.013 |

| | | | | | |
|----|--------|----------|----|--------|---------|
| 40 | 194.05 | 1544.924 | 81 | 192.00 | 1561.42 |
|----|--------|----------|----|--------|---------|

ДОДАТОК Б

Рисунок 2 ілюструє лицьові плати MXP_MR_10DME_C та MXP_MR_10DME_L.

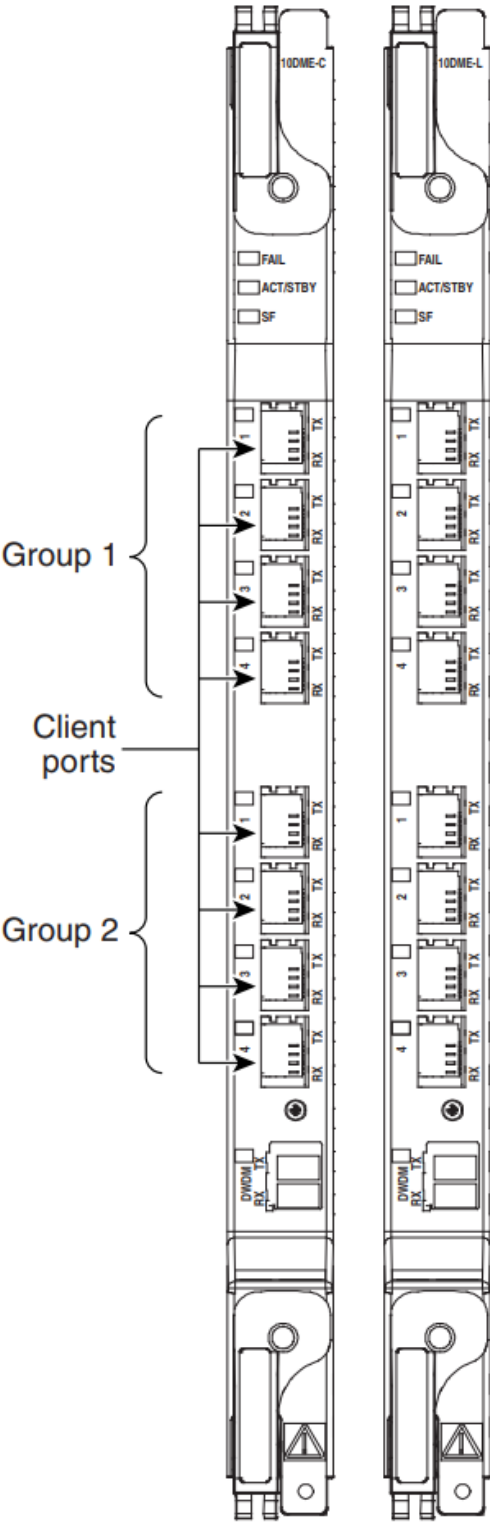


Рисунок 2 - Лицьові плати MXP_MR_10DME_C та MXP_MR_10DME_L [23]

Таблиця 2 – План каналного розподілу для MXP_MR_10DME_C [23]

| Номер каналу | Частота (ГГц) | Довжина хвилі (нм) | Номер каналу | Частота (ГГц) | Довжина хвилі (нм) |
|--------------|---------------|--------------------|--------------|---------------|--------------------|
| 1 | 196.00 | 1529.55 | 42 | 193.95 | 1545.72 |
| 2 | 195.95 | 1529.94 | 43 | 193.90 | 1546.119 |
| 3 | 195.90 | 1530.334 | 44 | 193.85 | 1546.518 |
| 4 | 195.85 | 1530.725 | 45 | 193.80 | 1546.917 |
| 5 | 195.80 | 1531.116 | 46 | 193.75 | 1547.316 |
| 6 | 195.75 | 1531.507 | 47 | 193.70 | 1547.715 |
| 7 | 195.70 | 1531.898 | 48 | 193.65 | 1548.115 |
| 8 | 195.65 | 1532.290 | 49 | 193.60 | 1548.515 |
| 9 | 195.60 | 1532.681 | 50 | 193.55 | 1548.915 |
| 10 | 195.55 | 1533.073 | 51 | 193.50 | 1549.32 |
| 11 | 195.50 | 1533.47 | 52 | 193.45 | 1549.71 |
| 12 | 195.45 | 1533.86 | 53 | 193.40 | 1550.116 |
| 13 | 195.40 | 1534.250 | 54 | 193.35 | 1550.517 |
| 14 | 195.35 | 1534.643 | 55 | 193.30 | 1550.918 |
| 15 | 195.30 | 1535.036 | 56 | 193.25 | 1551.319 |
| 16 | 195.25 | 1535.429 | 57 | 193.20 | 1551.721 |
| 17 | 195.20 | 1535.822 | 58 | 193.15 | 1552.122 |
| 18 | 195.15 | 1536.216 | 59 | 193.10 | 1552.524 |
| 19 | 195.10 | 1536.609 | 60 | 193.05 | 1552.926 |
| 20 | 195.05 | 1537.003 | 61 | 193.00 | 1553.33 |
| 21 | 195.00 | 1537.40 | 62 | 192.95 | 1553.73 |
| 22 | 194.95 | 1537.79 | 63 | 192.90 | 1554.134 |
| 23 | 194.90 | 1538.186 | 64 | 192.85 | 1554.537 |
| 24 | 194.85 | 1538.581 | 65 | 192.80 | 1554.940 |
| 25 | 194.80 | 1538.976 | 66 | 192.75 | 1555.343 |
| 26 | 194.75 | 1539.371 | 67 | 192.70 | 1555.747 |
| 27 | 194.70 | 1539.766 | 68 | 192.65 | 1556.151 |
| 28 | 194.65 | 1540.162 | 69 | 192.60 | 1556.555 |
| 29 | 194.60 | 1540.557 | 70 | 192.55 | 1556.959 |
| 30 | 194.55 | 1540.953 | 71 | 192.50 | 1557.36 |
| 31 | 194.50 | 1541.35 | 72 | 192.45 | 1557.77 |
| 32 | 194.45 | 1541.75 | 73 | 192.40 | 1558.173 |
| 33 | 194.40 | 1542.142 | 74 | 192.35 | 1558.578 |
| 34 | 194.35 | 1542.539 | 75 | 192.30 | 1558.983 |
| 35 | 194.30 | 1542.936 | 76 | 192.25 | 1559.389 |
| 36 | 194.25 | 1543.333 | 77 | 192.20 | 1559.794 |
| 37 | 194.20 | 1543.730 | 78 | 192.15 | 1560.200 |
| 38 | 194.15 | 1544.128 | 79 | 192.10 | 1560.606 |
| 39 | 194.10 | 1544.526 | 80 | 192.05 | 1561.013 |
| 40 | 194.05 | 1544.924 | 81 | 192.00 | 1561.42 |

ДОДАТОК В

Алгоритм для розділення конфігурації ROADM

Крок 1: Визначити сторону вузла яку треба розділити (наприклад, сторона А).

Крок 2: Помістити схеми add/drop та проходження в стан OOS.

Помістіть схеми OCHNC, OCHCC або OCHTRAIL на стороні А в стан OOS, DSBLD (ANSI) або заблокований, відключений (ETSI), використовуючи діалогове вікно «Редагувати схему».

Крок 3: Відокремити потрібну полицю.

Якщо всі картки, що належать стороні А, присутні у потрібній полиці Х, відключаємо Х, виконавши наступні дії:

У батьківському поданні CTC обрати потрібну полицю, яку ви хочете відключити, і виберіть «Видалити полицю».

Вийміть перехресний кабель локальної мережі з порту передньої панелі RJ-45 карт TCC/TCC2P/TCC3 в слоті 7 ONS 15454 або з порту MSM, який відповідає локальній мережі з порту передньої панелі RJ-45 карт TCC2/TCC2P/TCC3 в слоті 7 ONS 15454 або з порту MSM, який відповідає картці TNC/TNCE/TSC/TSCE в слоті 1 ONS 15454 M6.

Вийміть перехресний кабель локальної мережі з порту передньої панелі RJ-45 карт TCC2 / TCC2P / TCC3 в слоті 11 ONS 15454 або з порту MSM, який відповідає картці TNC / TNCE / TSC / TSCE в слоті 8 ONS 15454 M6.

Крок 4: Налаштування відключеної сторони, як контролера вузла.

Щоб пере налаштувати вузол як контролер вузла, необхідно використовувати LCD-панель:

Натискайте кнопку Статус, поки не з'явиться Статус полиці.

Натискайте кнопку Порта, поки не з'явиться статус контролера = MS Config.

Знову натисніть Стан та натисніть Порт, щоб встановити режим багатоповерхового режиму на $MS = N$ (для однополичної) або $MS = Y$ (для декількох полиць).

Знову натисніть Статус і натисніть Порт, поки для ідентифікатора не буде встановлено $ID = 1$.

Знову натисніть Стан та натисніть Порт, щоб встановити $VLAN = N$ (для однополичної) або $VLAN = Y$ (для декількох полиць).

Натисніть Статус, щоб вибрати Готово.

Натискайте Статус, поки "Зберегти та перезавантажити?" з'явиться, а потім натисніть Слот, щоб вибрати Застосувати. Це перезавантажує полицю. "Збереження змін; На РК-дисплеї з'явиться повідомлення про перезавантаження ТСС".

Повторно вставте карту контролера TNC / TNCE / TSC / TSCE (у M6) або на контрольну плату вузла TCC2 / TCC2P / TCC3 (у M12).

Встановіть IP-адресу, маршрутизатор за замовчуванням та маску мережі для налаштування нової IP-адреси, шлюзу за замовчуванням та маски підмережі.

Переименуйте вузол, щоб визначити розділений вузол.

Крок 5: Підключіть контролер вузла та подаючі полиці до комутатора Ethernet.

Крок 6: Імпортуйте XML-файл після розбиття в СТС.

Крок 7: Встановіть картки DWDM.

Крок 8: запуск ANS, використовуючи процедуру, NTP-G37 Запуск автоматичної налаштування вузла.

Крок 9: Створіть завершення OSC, використовуючи процедуру, NTP-G38 Забезпечення закінчення OSC .

Крок 10: Встановіть TXP-карти в сервісі.

Крок 11: Встановити схеми в експлуатації. Встановіть схеми, розміщені в OOS, DSBLD (ANSI) або заблоковані, відключені (ETSI) у

завданні 2 назад до сервісу, використовуючи діалогове вікно «Редагувати схему».

Крок 12: Створіть попередні патчкорди між вузлами після розколу.

Крок 13: Перевірка підключення ланцюга до кінця. Щоб перевірити підключення ланцюгів до кінця, скористайтесь опцією Показати детальну карту в CTC.

Крок 14: Переконфігуруйте схеми в режимі «PARTIAL». Переконайтесь, що всі розбиті сторони виявлені в CTC.

Виберіть «PARTIAL» схеми, які починаються або закінчуються на розділеній стороні, а потім натисніть «Редагувати».

Установіть прапорець "Показати детальну карту" та перевірте шлях контуру до кінця.

Перейдіть у меню CTC Tools> Circuits> Reconfigure Circuits, щоб переконфігурувати вибрані схеми.

Повторіть вищезазначені дії для решти часткових ланцюгів. Конфігурація розділеного ROADM завершена.